



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



BRUNA CAROLINE CAMPOS

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
SOLUÇÕES ESTRUTURAIS NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE  
CONCRETO ARMADO COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE ELETRODUTOS

Uberlândia, 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

BRUNA CAROLINE CAMPOS

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
SOLUÇÕES ESTRUTURAIS NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE  
CONCRETO ARMADO COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE ELETRODUTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau em Engenharia Civil.

Orientadora: Maria Cristina Vidigal de Lima

Uberlândia, 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Encerrando mais um ciclo, agradeço por ter pessoas que estiveram ao meu lado, me acompanhando, me auxiliando nos tropeços e comemorando nas vitórias. Agradeço a Deus, essa força maior que me guia e me sustenta em todos os meus momentos.

O meu muito obrigada à minha família – Oscar, Simone, Júlia e Larissa, por acreditar em mim e repetir incansavelmente que sou capaz de ir além de minhas expectativas. Aos parentes um pouco mais distantes, Selma, Geni, Elaine e Marta: obrigada por serem fonte constante de admiração e motivação.

Aos meus amigos, obrigada: Adriana, Alessandra, Anna Clara, Fernanda, Laís, Luiz, Natália e Paula. Agradeço pela presença diária, de perto ou de longe, confirmando em cada incentivo e em cada conversa que eu escolhi companhias mais que certas.

Agradeço o auxílio dos professores Jesiel e Rodrigo, que se dispuseram a solucionar minhas dúvidas e propor sugestões para que este trabalho fosse finalizado da melhor maneira possível. Agradeço especialmente à professora Maria Cristina, pela excelente orientação, por ser fonte de conhecimento e minha inspiração pessoal e profissional.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo das possíveis soluções estruturais no dimensionamento de lajes maciças de concreto armado quando é considerado o efeito da alta concentração de eletrodutos. Situações como essa são recorrentes, principalmente, em edificações residenciais de vários pavimentos. Apresentam como consequência a diminuição da seção resistente de concreto, podendo gerar esforços não previstos, tornando crítico seu estado de deformação. Foi utilizado o programa computacional TQS para modelagem de diferentes situações do pavimento tipo de um edifício previamente escolhido, variando a espessura da laje, suas condições de contorno e condições de apoio dos elementos constituintes da estrutura convencional. Os dados foram posteriormente comparados, com o auxílio de planilhas eletrônicas, para obtenção da melhor solução a ser adotada dos pontos de vista construtivo e estrutural. Finalmente, foram apresentadas outras opções para o problema apresentado, além das citadas anteriormente, como a utilização de itens auxiliares aos eletrodutos no projeto elétrico, a adoção de lajes nervuradas, treliçadas e pré-moldadas.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to study the possible structural solutions for the dimensioning of solid reinforced concrete slabs when considering the high conduit concentration effect. Situations like this are recurrent, mainly, at residential buildings composed by various floors. They present as consequence the reduction of the concrete resistant section, generating non-predictable efforts, and turning it into a critical stage of deformation. It has been utilized the software TQS for modelling different situations of the same floor, varying the slab thickness, its boundary conditions and support conditions of the conventional structure elements. Data has been compared with help of electronic sheets, aiming to obtain the best solution to be chosen in a constructive and structural point of view. Finally, it has been presented other options for the cited problem, beside the ones already mentioned, such as the utilization of auxiliary conduit items at the electric project, adoption of ribbed slabs or precast slabs.

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	7
2	Objetivos .....	8
3	Justificativa.....	9
4	Metodologia.....	9
5	Revisão bibliográfica .....	11
5.1	Modelos estruturais.....	11
5.2	Elementos de superfície.....	12
5.3	Recomendações normativas.....	13
5.4	Estádios e domínios de deformação .....	16
5.5	Esforços e verificações .....	19
5.6	Considerações de projeto .....	21
6	Dimensionamento .....	23
6.1	Dados da edificação.....	24
6.2	Materiais e carregamentos.....	25
6.3	Pré-dimensionamento .....	25
6.4	Definição da região crítica.....	26
6.5	Condições de contorno e processamento global .....	30
7	Resultados .....	31
7.1	Situações modeladas.....	31
7.2	Outras soluções estruturais.....	45
8	Conclusão .....	47
9	Considerações finais .....	48
	Referências .....	50
	ANEXO A – Projeto Arquitetônico: Pavimento tipo.....	52
	ANEXO B – Projeto Elétrico: Pavimento tipo.....	54
	ANEXO C – Planta de Formas: Pavimento tipo .....	56

## 1 Introdução

A construção civil conta com uma variedade de materiais a serem utilizados, diferenciando sua aplicação segundo o tipo de obra, características do solo onde será feita a edificação e necessidades definidas em projeto arquitetônico. Um dos materiais mais utilizados é o concreto, o que se deve principalmente à sua tradição histórica e cultural.

As edificações feitas em estrutura convencional são executadas em concreto armado ou protendido, apresentando como alguns de seus elementos estruturais os pilares, vigas e lajes. A locação de pilares é realizada juntamente com a concepção da arquitetura, sendo definida no projeto estrutural, juntamente com as medidas de todos os elementos. O dimensionamento é realizado segundo a ABNT NBR 6118:2014 e alguns parâmetros particulares a cada engenheiro.

As lajes em concreto armado, em muitas ocasiões, são utilizadas para colocação dos eletrodutos dimensionados no projeto de instalações elétricas. Isso acontece quando sua concentração é baixa e não implica, portanto, na construção de um espaço entre forros destinado à passagem dos mesmos. Em lajes com presença de eletrodutos a concretagem é feita somente após sua colocação e, anteriormente, das armaduras.

O problema encontrado quando há eletrodutos nas lajes consiste na redução da seção transversal de concreto, podendo aumentar esforços e deslocamentos de maneira não prevista inicialmente. Em regiões onde a concentração de eletrodutos é alta, pode-se chegar a um nível crítico de redução de resistência da seção, afetando o desempenho das armaduras, aparecimento de fissuras e deslocamentos excessivos.

O presente trabalho tem a finalidade de analisar os efeitos gerados pela diminuição da área resistente da seção transversal de lajes com alta concentração de eletrodutos. Além disso, pretende indicar soluções estruturais para o problema exposto. O estudo foi realizado com o auxílio do programa computacional TQS para dimensionamento e detalhamento dos elementos constituintes da estrutura.

Foram inseridos os dados de uma edificação previamente escolhida no TQS para modelagem de seu pavimento tipo. Foi determinada a locação de pilares, vigas e lajes, assim como as características para processamento e análise estrutural. Escolheu-se três situações para estudo, representando opções construtivas usuais, a alteração no comportamento de lajes em situações críticas e soluções para seu desempenho prejudicado.

Concluiu-se que lajes com espessura adotada em opções construtivas usuais apresentam maiores deslocamentos e fissuras. Além disso, a solução de modelo estrutural proposta indica custos de execução relativamente iguais aos da situação convencional, existindo um pequeno aumento de gastos. A escolha do programa TQS para análise de dados foi satisfatória, visto que possibilitou a simulação de diferentes comportamentos das lajes e forneceu resultados viáveis para discussão.

Foram apresentadas outras condições de análise computacional, assim como outros tipos de laje a serem considerados soluções para o problema. Citou-se a possibilidade de escolha de lajes nervuradas e treliçadas e as vantagens e desvantagens dos elementos pré-moldados. Abordou-se também a possibilidade de execução do presente trabalho a partir de outros programas, enfatizando suas opções de análise e adaptações pertinentes.

## **2 Objetivos**

O objetivo do trabalho consiste em estudar o comportamento de lajes maciças de concreto armado, verificando os esforços, fissuras, deslocamentos e alteração nas armaduras calculadas quando considerados os vazios correspondentes às instalações elétricas. Posteriormente, apresenta soluções viáveis construtiva e estruturalmente de acordo com as delimitações do engenheiro, do programa computacional e dos custos previstos para cada obra.

Dentre os objetivos específicos do trabalho, podem ser mencionados o dimensionamento das lajes maciças de concreto armado do pavimento tipo do projeto escolhido, obtenção dos esforços, flechas e fissuras da estrutura. Posteriormente, é



objetivada a verificação da alteração dos resultados de acordo com a variação da espessura da laje e de suas condições de extremidade, assim como comparação de situações reais de projeto e situações críticas de dimensionamento. Por fim, podem ser citados o estudo de diferentes opções de análise oferecidas pelos programas computacionais e apresentação de soluções para obtenção da resistência adequada em seções transversais contendo eletrodutos.

### **3 Justificativa**

Durante a execução de lajes maciças, em diversas ocasiões as instalações elétricas são dispostas em sua seção transversal. A maior concentração desses elementos acontece nas áreas comuns, onde chegam advindas dos outros cômodos e são reunidas para alcançarem os *shafts* e quadros de distribuição.

Após observação de situações reais de dimensionamento estrutural e pesquisa bibliográfica acerca do tema, constatou-se que não é uma prática comum a consideração dos vazios advindos de eletrodutos na fase de projeto. Existem ainda poucas publicações relacionadas ao tema, sendo esse uma das razões para aprofundamento dos estudos.

Dessa forma, viu-se a necessidade de análise e simulação de casos de alta concentração de eletrodutos nas lajes maciças. Além disso, é importante comparar situações usuais e outras mais críticas, verificando a alteração da resistência da seção transversal e aparecimento de deslocamentos e fissuras excessivas.

### **4 Metodologia**

A abordagem do tema foi feita inicialmente por meio de pesquisa bibliográfica, levando em consideração as normas técnicas existentes e orientações gerais para a execução de lajes maciças em concreto armado. Posteriormente, foi dado enfoque às características das instalações elétricas e ao posicionamento dos eletrodutos quando embutidos em lajes.

Para o trabalho em questão, os parâmetros iniciais de projeto foram retirados de Silva (2015), onde foi apresentada uma análise da variação da taxa de armadura em lajes maciças com alta concentração de eletrodutos. Nesse trabalho, tomou-se como base um projeto arquitetônico de uma edificação residencial de alto padrão e o pavimento tipo do mesmo foi modelado no programa computacional TQS. Para indicar o acúmulo de instalações elétricas em determinada região, considerou-se uma redução na espessura da laje, e vigas-faixa foram acrescentadas apenas com função de viabilizar a análise computacional.

Comparou-se em Silva (2015) a taxa de armadura das lajes com espessura de 15 cm com as lajes com rebaixo de 8 cm e observou-se o aumento significativo desse parâmetro quando considerado o rebaixo. A análise de flechas não gerou resultados relevantes, visto que para os dois tipos de lajes os valores não foram distantes entre si.

No presente trabalho foi adotado o projeto de instalações elétricas de Silva (2015). O método de abordagem da área rebaixada foi diferente, uma vez que as regiões de contorno delimitadas foram outras, assim como as espessuras das lajes. Modificou-se também as considerações de cargas permanentes e acidentais nos elementos de superfície.

O pré-dimensionamento da edificação foi realizado com base na ABNT NBR 6118:2014, levando em conta as dimensões mínimas de lajes, pilares e vigas. A locação de pilares foi realizada de forma a harmonizar com o projeto arquitetônico e facilitar os cálculos do projeto estrutural.

O programa computacional TQS versão 19.10.46 foi utilizado e mostrou-se fundamental para a obtenção de informações das lajes, a saber: deslocamentos, fissuras, esforços e armaduras (dimensionamento e detalhamento). Foi utilizada uma planilha eletrônica para auxílio na comparação de resultados entre a estrutura convencional, a modelagem considerando os vazios correspondentes aos eletrodutos e a solução sugerida para o problema apresentado.

## 5 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica do trabalho aborda os modelos estruturais, dando enfoque às lajes, suas principais características e classificações. São apresentadas as referências normativas aplicáveis ao tema do presente trabalho, recomendações e limites aceitáveis para o bom comportamento da estrutura. Por fim, são identificadas as considerações de projeto relacionadas às lajes e as vantagens de se adotar sistemas alternativos, como por exemplo as lajes pré-moldadas.

### 5.1 Modelos estruturais

As edificações podem ser construídas com diferentes métodos e materiais. O método denominado convencional, no Brasil, é descrito pela utilização de concreto armado (Figura 1), o qual é formado pela associação de concreto e aço. O concreto apresenta boa resistência à compressão, enquanto o aço tem alta resistência à tração. Logo, consegue-se um melhor desempenho da estrutura frente aos diferentes esforços solicitantes.

Figura 1 – Execução de elemento estrutural em concreto armado



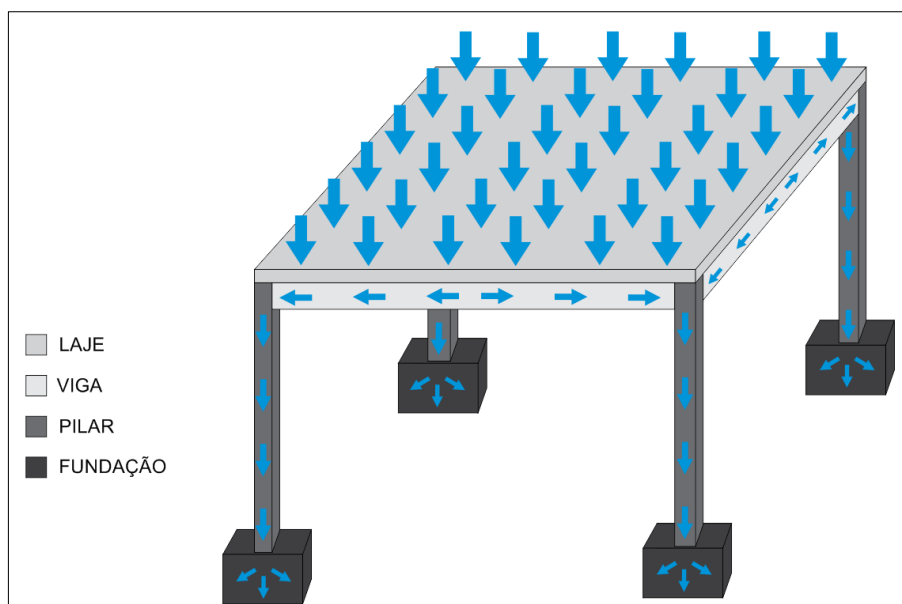
Fonte: Autor (2017)

Além de concreto armado, as edificações podem ser construídas em concreto protendido, estrutura metálica e madeira. Ainda existem outros tipos de componentes

auxiliares que podem ser utilizados, como por exemplo os painéis em gesso acartonado e as chapas metálicas, ambos empregados com função de vedação.

A estabilidade de estruturas em geral depende da presença de pórticos, formados por pilares, vigas e lajes. Os esforços são aplicados diretamente nas lajes, e então transferidos às vigas e posteriormente aos pilares. O processo termina na fundação, que recebe as cargas de toda a edificação e as transfere para o solo, o qual irá dissipá-las ao longo de sua extensão e segundo sua capacidade suporte. O processo pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Transmissão de esforços nos elementos estruturais



Fonte: Autor (2017)

## 5.2 Elementos de superfície

As lajes possuem como característica específica o fato de que duas de suas dimensões são significativamente superiores à terceira, formando assim um elemento de placa. Podem ser classificadas de acordo com as condições de extremidade, geometria e disposição da armação em uma ou duas direções.

Conforme as condições de extremidade as lajes podem ser denominadas engastadas, apoiadas ou livres. Lajes engastadas transferem e absorvem esforços de lajes

adjacentes. Lajes apoiadas apenas transferem esforços, e lajes com bordos livres não possuem apoios e, conseqüentemente, não recebem esforços de lajes adjacentes.

Lajes maciças, nervuradas, treliçadas e mistas são classificações segundo a geometria. Lajes maciças são compostas por concreto e aço e podem ser pré-moldadas ou fabricadas no local da obra. Lajes nervuradas contam com a presença de formas plásticas para moldarem as chamadas nervuras, e por isso podem vencer maiores vãos se comparada às lajes maciças. Lajes treliçadas têm desempenho similar às nervuradas; a associação do concreto com treliças permite a construção de vãos maiores. Lajes mistas são formadas por composições de lajes maciças, nervuradas e/ou treliçadas.

A disposição da armadura em uma laje depende de suas dimensões. A armadura principal é sempre disposta na direção do menor vão, e a armadura secundária é sobreposta perpendicularmente a esta. As lajes são armadas em apenas uma direção quando a relação entre o maior e o menor vão é superior a 2, e assim o momento na direção do maior vão é relativamente pequeno e pode ser desconsiderado. Ainda assim, é adotada uma armadura de distribuição (mínima) na direção secundária.

### **5.3 Recomendações normativas**

As normas técnicas utilizadas para o dimensionamento de lajes são a ABNT NBR 6118:2014, que determina as espessuras, cobrimentos mínimos e disposição de armaduras, e a ABNT NBR 6120:1980, que especifica as cargas a serem consideradas. O processo inicia-se com a escolha da classe de agressividade ambiental no local onde será construída a edificação. Valores diferentes dos citados podem ser adotados, desde que respaldados pela orientação do engenheiro estrutural.

A partir da definição da classe de agressividade ambiental é possível determinar algumas características de projeto, tais como a máxima relação água/cimento e a classe de resistência mínima do concreto. Essas informações podem ser consultadas

na ABNT NBR 6118:2014, onde constam valores para estruturas de concreto armado e protendido.

O cobrimento nominal das lajes é determinado de acordo com a classe de agressividade ambiental escolhida. Vale ressaltar que o mesmo é válido para a tolerância de execução de 10 mm estabelecida na ABNT NBR 6118:2014. Em caso de especificação no projeto de necessidade de controle rigoroso de execução, as medidas podem ser diminuídas em 5 mm. O cobrimento nominal deve, ainda, ter valor maior ou igual ao diâmetro da barra (ou feixe) e metade do diâmetro da bainha (ABNT NBR 6118:2014).

A espessura mínima das lajes maciças é dada de acordo com seu tipo, utilização e classificação. Para lajes em balanço com espessura entre 10 e 19 cm, os esforços solicitantes finais de cálculo precisam ser majorados com um coeficiente extra estabelecido na ABNT NBR 6118:2014. As espessuras mínimas são listadas a seguir:

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiada em vigas, com o mínimo de  $l/42$  para lajes de piso biapoiadas e  $l/50$  para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo fora do capitel.

Outro fator a ser definido é a carga suportada pelas lajes. Os valores padronizados para carregamentos acidentais, conforme a utilização da estrutura, constam na ABNT NBR 6120:1980. Também consta na norma o peso específico dos materiais de construção mais utilizados, direcionando o cálculo dos carregamentos permanentes. Em casos particulares, pode-se adotar valores diferentes dos normativos, desde que devidamente justificados.

Após estabelecidas as cargas, a classe de agressividade ambiental, a espessura e o cobrimento da laje, o dimensionamento é realizado de maneira a alcançar o comportamento dútil adequado da laje. Para isso, a posição da linha neutra, segundo a ABNT NBR 6118:2014, obedece aos critérios da Equação 1.

$$x/d \leq \begin{cases} 0,45 \text{ para concretos com } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} ; \\ 0,35 \text{ para concretos com } 50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} . \end{cases} \quad (1)$$

A ABNT NBR 6118:2014 define valores mínimos de armaduras para que seja atendido o desempenho da peça frente aos esforços a ela submetidos. Esses valores são encontrados na norma citada acima e se alteram conforme a armadura é positiva ou negativa, principal ou secundária e disposta em uma ou duas direções.

Dependendo dos esforços existentes torna-se necessária a adoção da armadura de compressão, além da armadura de tração. De acordo com a norma, a soma das áreas de todas as armaduras presentes na seção transversal deve ter valor máximo de 4% da área de concreto.

Ao executar o detalhamento da armadura deve-se atentar para as definições da ABNT NBR 6118:2014 quanto ao espaçamento. As barras da armadura de flexão devem apresentar diâmetro máximo de  $h/8$ , onde  $h$  é a altura total da laje. O espaçamento máximo entre as barras da armadura principal deve ser no máximo de  $2h$  ou 20 cm (prevalecendo o menor dentre esses dois valores).

A armadura secundária precisa ter espaçamento máximo entre barras de 33 cm, além de apresentar área igual ou superior a 20% da armadura principal. Nas lajes armadas em uma direção a armadura secundária também deve ser adotada, denominada armadura de distribuição. Nessa situação, deve atender o valor mínimo de  $0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

A partir das orientações de detalhamento e disposição da armadura, são escolhidos os diâmetros das barras (que podem ser posteriormente alterados conforme resultado das verificações) e a altura útil da laje. Passa-se, então, para a fase de cálculo dos esforços e verificação da estrutura.

O deslocamento limite para as lajes, segundo a ABNT NBR 6118:2014, é vinculado à limitação imposta em projeto. Os quatro grupos listados a seguir são as características definidas em norma.

- Aceitabilidade sensorial: limite caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;
- Efeitos específicos: deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- Efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;
- Efeito em elementos estruturais: deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas.

A abertura de fissuras é consequência inevitável nas estruturas de concreto armado, principalmente devido à baixa resistência à tração do concreto. Podem surgir também por causa da retração plástica térmica ou de reações químicas internas do concreto nas primeiras idades. Os limites de fissuração determinados na ABNT NBR 6118:2014 também levam em conta a localização da edificação e consequente agressividade do meio.

#### **5.4 Estádios e domínios de deformação**

Sob a ação de esforços, as lajes – assim como os demais elementos estruturais – sofrem deformações. Tais deformações são proporcionais à profundidade da linha neutra, a qual é determinada conforme estágio de comportamento do concreto armado (SILVA *et al*, 2006). Após a definição do estágio do elemento estrutural, tornam-se possíveis os cálculos do momento de inércia e tensões da seção transversal. Os estádios distinguidos ao longo da evolução do carregamento são: I, II e III.

O estágio I, correspondente ao início do carregamento, diz respeito à seção com diagrama linear de tensões onde as mesmas são baixas e, assim, o concreto resiste



à tração. É nesse estágio que é calculado o momento de fissuração e, conseqüentemente, a armadura mínima. O momento de inércia em relação a linha neutra é dado pela Equação 2. No dimensionamento de lajes, seu comportamento é sempre considerado no estágio I (ARAÚJO, 2009).

$$I_I = \frac{b_w h^3}{12} + b_w h \left( \frac{h}{2} - x_I^2 \right) + \alpha_e A'_s (x_I - d') - \alpha_e A_s (d - x_I) \quad (2)$$

Onde:

$I_I$ : momento de inércia da seção no estágio I;

$b_w$ : largura da seção transversal;

$h$ : altura da laje;

$x_I$ : altura da linha neutra no estágio I;

$\alpha_e$ : relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto;

$A'_s$ : área da armadura comprimida;

$A_s$ : área da armadura de tração;

$d$ : altura útil da laje;

$d'$ : distância do centro de gravidade de  $A'_s$  até a borda comprimida.

No estágio II o concreto já está fissurado, e sua contribuição à tração é desprezada. Na parte comprimida, entretanto, ele ainda apresenta um comportamento linear. Nesse estágio, é feita a verificação do estado limite de abertura de fissuras e do estado limite de deformações excessivas. A Equação 3 indica a forma de obtenção do momento de inércia.

$$I_{II} = \frac{b_w x_{II}^3}{3} + \alpha_e A'_s (x_{II} - d')^2 + \alpha_e A_s (d - x_{II})^2 \quad (3)$$

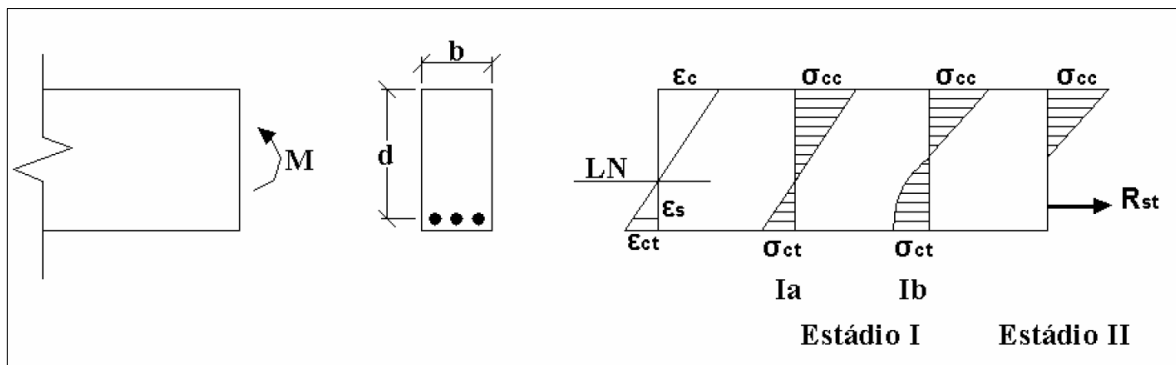
Onde:

$I_{II}$ : momento de inércia da seção no estágio II;

$x_{II}$ : altura da linha neutra no estágio II.

O estágio III é definido pela plastificação da zona comprimida do concreto, que se encontra na iminência de ruptura. Nessa fase, o diagrama de tensões é não linear. A Figura 3 exemplifica o comportamento da seção nos estágios I e II citados.

Figura 3 – Representação dos estádios de deformação

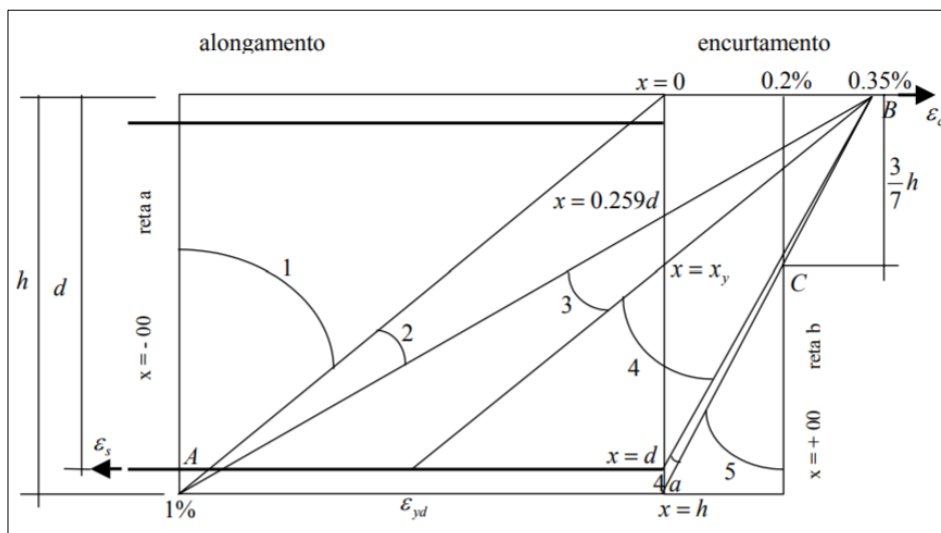


Fonte: Silva *et al* (2006)

Durante a aplicação de carregamento nos elementos estruturais de concreto armado, sua deformação pode ser determinada conforme os comportamentos do concreto e do aço na absorção de esforços. O cálculo das lajes no regime rígido plástico, o qual é comumente utilizado e é adotado neste trabalho, apenas é permitido quando as deformações das seções transversais da laje estão dentro dos domínios de deformação 2 e 3, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

Em ambos os domínios citados a linha neutra corta a seção transversal, havendo flexão simples ou composta. No domínio 2 não há ruptura à compressão do concreto; já no domínio 3, a ruptura ocorre simultaneamente ao escoamento da armadura (FUSCO, 1981). A Figura 4 indica os domínios de deformação existentes.

Figura 4 – Domínios de deformação do concreto



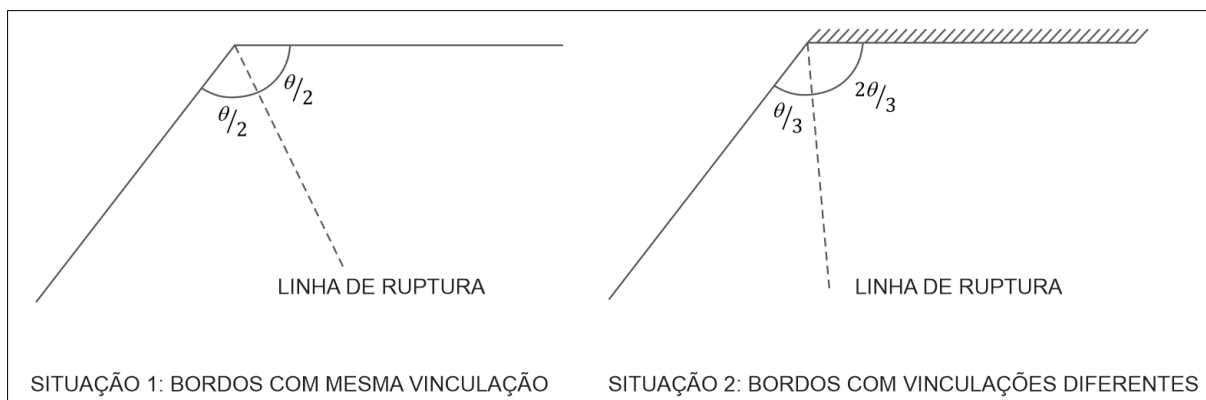
Fonte: Almeida (2002)

## 5.5 Esforços e verificações

Uma vez que as lajes estão submetidas a carregamentos distribuídos do peso próprio e cargas permanentes e acidentais, um dos métodos para cálculo das reações de apoio nas vigas é concentrar o carregamento nos bordos da laje. Os esforços em cada bordo são definidos segundo as áreas delimitadas pelas linhas de ruptura.

As linhas de ruptura são desenhadas conforme o tipo de ligação entre as lajes e sempre passarão pelo vértice entre os bordos ou serão paralelas ao bordo, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. A Figura 5 mostra as formas de ruptura: para bordos com mesmo tipo de vinculação, a linha de ruptura divide o ângulo entre eles pela metade. Em caso de bordos com vinculações diferentes, a mesma se aproxima do bordo não engastado.

Figura 5 – Linhas de ruptura das lajes



Fonte: Autor (2017)

Para obtenção de momentos fletores e forças cortantes é necessário definir se a laje será armada em uma ou duas direções. Após analisada a relação entre os vãos, as lajes armadas em uma direção têm seus momentos e forças calculados da mesma forma que em vigas. Para lajes armadas em duas direções, os esforços são obtidos conforme Equação 4.

$$M_{x,m} = c_{x,m} \cdot pl_x^2 \quad (4)$$

Onde:

$M_{x,m}$ : momento na direção x no meio da laje;

$c_{x,m}$ : coeficiente tabelado em função da razão entre os vãos;

$p$ : carregamento na laje;

$l_x$ : menor vão da laje.

A Equação 4 pode ser adaptada para cálculo dos momentos na direção  $y$  e dos momentos máximos em cada direção, acompanhados pelos respectivos coeficientes. Já o cálculo das forças cortantes é feito segundo a Equação 5. Esta também é utilizada no cálculo dos esforços em ambas as direções.

$$R_x = k_x \cdot p l_x \quad (5)$$

Onde:

$R_x$ : reação em  $x$ ;

$k_x$ : coeficiente tabelado em função da razão entre os vãos.

Nas ligações entre lajes contínuas, exige-se dimensionar para momento fletor não inferior à média dos momentos das lajes, nem inferior a 80% do maior momento. Observa-se que o melhor desempenho do painel e a forma mais econômica é utilizando-se a média dos momentos. Assim, quando houver momentos maiores que a média, recomenda-se considerar a laje menor como engastada e a laje maior apoiada, sujeita ao momento da menor.

Depois de calculados os esforços, adota-se os diâmetros para as armaduras positivas e negativas e calcula-se a altura útil da laje. Com esses dados é possível determinar a área mínima de aço através de tabelas. Conforme indicações da ABNT NBR 6118:2014, define-se também o espaçamento entre as barras.

A ABNT NBR 8681:2003 traz a definição de ações como sendo causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. As ações podem ser subdivididas em permanentes (peso próprio dos elementos), variáveis (cargas acidentais, efeitos do vento, variação de temperatura) e excepcionais. As combinações de ações e os valores dos coeficientes participantes da formulação estão na ABNT NBR 8681:2003.

As verificações da estrutura são feitas através da combinação de esforços. Para verificação de vigas, lajes, pilares e fundações é feita a combinação das cargas permanentes e acidentais no ELU (Estado Limite Último). Devido ao fato de que esse estado determina a paralisação – completa ou parcial – do uso da edificação, seu limite deve ser respeitado, conforme ABNT NBR 8681:2003.

O Estado Limite de Serviço (ELS) é caracterizado pelos efeitos estruturais que não respeitam as condições adequadas e especificadas para a utilização da edificação, ou mesmo que representam risco de comprometimento da durabilidade da estrutura. As combinações de ações no ELS podem ser classificadas em quase permanentes, frequentes e raras. A combinação quase permanente permite a análise de deslocamentos, enquanto a combinação frequente engloba a análise de fissuras.

## **5.6 Considerações de projeto**

As normas técnicas servem como guias aos engenheiros, auxiliando no pré-dimensionamento da estrutura e na análise de cargas. Entretanto, há diversas variáveis que são de responsabilidade do engenheiro definir e comparar entre as opções fornecidas. A espessura das lajes é uma dessas variáveis; é escolhida uma espessura inicial, respeitando os valores mínimos que constam na ABNT NBR 6118:2014. Posteriormente à verificação dos elementos estruturais, essa espessura pode ser mantida ou alterada.

Em edificações de múltiplos andares, as fiações elétricas dos pavimentos superiores são dispostas nas lajes de forro dos pavimentos imediatamente inferiores. Colocados posteriormente à armadura positiva em lajes maciças de concreto armado, os eletrodutos ocupam a região central da seção transversal, estando localizados na região tracionada ou comprimida de concreto.

A posição recomendada para os eletrodutos é na região tracionada do concreto, visto que para esse tipo de solicitação o aço apresenta melhor desempenho. Dessa maneira, os vazios existentes interferem de forma menos significativa do que quando presentes na região comprimida. O posicionamento pode ser alterado, todavia,

conforme movimentação de trabalhadores e devido à própria concretagem. A Figura 6 mostra um exemplo de disposição de eletrodutos em laje maciça.

Figura 6 – Disposição de eletrodutos em laje maciça de concreto armado



Fonte: ESO UFRGS (2017)

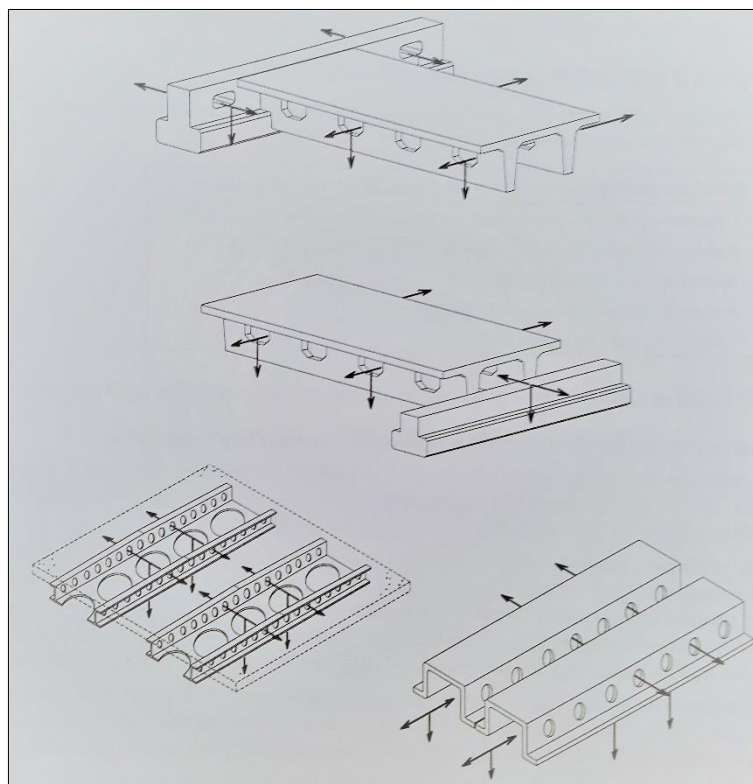
As instalações elétricas são feitas seguindo as orientações do engenheiro responsável, porém os vazios por elas gerados não são considerados no projeto estrutural e durante a verificação de esforços. Assim, principalmente quando sua concentração é alta, podem camuflar esforços maiores que os suportados pelas lajes.

A utilização de lajes pré-moldadas pode ser uma alternativa para a disposição correta de eletrodutos. Apresentam como diferencial o fato de que podem gerar diferentes distribuições de esforços quando comparadas às lajes moldadas no local. Os custos de elementos pré-moldados são acrescidos com a parte de transporte e montagem, porém são compensados pela ausência de formas e cimbramentos (EL DEBS, 2000).

É preciso, entretanto, que se conheça previamente todas as etapas envolvidas na construção, inclusive as posições das instalações elétricas. Outra solução é a adoção de elementos compostos, onde a área pré-moldada tem seção parcial e a outra parte da seção resistente é completada com concreto moldado no local.

Esse sistema funciona principalmente, de acordo com El Debs (2000), através da transferência das tensões de cisalhamento na interface entre o concreto moldado no local e o pré-moldado. A Figura 7 mostra as opções de estruturas pré-moldadas com previsão para passagem de instalações.

Figura 7 – Elementos pré-moldados com previsão para instalações



Fonte: El Debs (2000)

## 6 Dimensionamento

Para o dimensionamento da estrutura é necessário a coleta de informações prévias, como dados gerais da edificação, projetos arquitetônico, de fundações e instalações elétricas, além dos critérios para a análise computacional. São apresentadas a seguir as informações da edificação escolhida e a planta de formas obtida do pré-dimensionamento. Depois, é explicada a definição da região crítica – contendo maior concentração das instalações elétricas – e as situações escolhidas para modelagem e estudo de resultados. Por fim, são indicados os dados de entrada no programa TQS e as definições para processamento global.

## 6.1 Dados da edificação

A edificação escolhida foi a mesma apresentada em Silva (2015). Trata-se de uma construção residencial com área total construída de 14.765,26 m<sup>2</sup>, composta por dois subsolos, um pavimento térreo, doze pavimentos tipo com quatro apartamentos cada e quatro coberturas duplex. Os apartamentos possuem área privativa de 171 m<sup>2</sup> cada aproximadamente, enquanto cada cobertura tem área privativa aproximada de 343 m<sup>2</sup>.

O pé direito do pavimento tipo é de 2,70 m; devido à simetria desse pavimento, foram modelados apenas dois apartamentos no programa computacional TQS. As plantas do pavimento tipo do projeto arquitetônico e de instalações elétricas podem ser observadas nos Anexos A e B, respectivamente. A Figura 8 mostra a alta concentração de eletrodutos existente durante a execução da obra, razão pela qual essa edificação foi tomada como modelo.

Figura 8 – Disposição dos eletrodutos durante execução da obra analisada



Fonte: Silva (2015)



## **6.2 Materiais e carregamentos**

Foi considerada classe de agressividade ambiental II (moderada, urbana), concreto de todos os elementos classe C25 e as armaduras de classes CA50 e CA60. Os cobrimentos foram adotados os mínimos estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014, a saber: 2,5 cm em pilares, vigas e lajes.

Sobre as vigas foi considerada uma carga de alvenaria de tijolo furado de 14 cm, correspondente a 13 kN/m<sup>3</sup>. Sobre as lajes adotou-se o carregamento permanente de 1,0 kN/m<sup>2</sup> para considerar o efeito do revestimento. Segundo Araújo (2010), em situações usuais onde são utilizados pisos cerâmicos ou tacos de madeira, por exemplo, o peso do revestimento pode ser estimado de 0,8 a 1,0 kN/m<sup>2</sup>. O carregamento acidental adotado foi de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, conforme ABNT NBR 6120:1980.

Ao inserir os dados no programa computacional TQS, considerou-se um modelo estrutural de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios, caracterizado como grelha de lajes planas; a estrutura se comporta como um corpo único, sem juntas ou torres separadas. Não foi considerada as ações devido ao vento, variação de temperatura e retração do concreto. Como o objetivo da modelagem é a análise do comportamento das lajes onde há alta concentração de eletrodutos, foi inserido no programa apenas um pavimento tipo, uma vez que a entrada com os dados de todo o edifício não alteraria os resultados buscados.

## **6.3 Pré-dimensionamento**

Devido ao fato de que não se teve acesso ao projeto estrutural da edificação, foi realizado um pré-dimensionamento dos elementos e posterior determinação de suas dimensões após verificações. Nessa fase, os pilares foram considerados engastados ao solo (não foram dimensionadas fundações), e as dimensões dos elementos foram tomadas mínimas quando possíveis, seguindo orientações da ABNT NBR 6118:2014.

As vigas têm largura fixa de 12 cm, e alturas variando entre 30, 50 e 60 cm. Os pilares possuem dimensão mínima de 14 cm, sendo modificada conforme a área de influência

de cada um. Numa situação inicial, as lajes foram todas consideradas com espessura de 15 cm. Os dados preliminares necessários ao cálculo de pilares estão na Tabela 1. A planta de formas obtida está na Figura 9, e encontra-se ampliada no Anexo C.

Tabela 1 – Dados para dimensionamento dos pilares

<b>DADOS GERAIS</b>	
$g + q$ (kN/m <sup>2</sup> )	12,00
$n$	12,00
$\rho$	0,02
$\sigma_{s2}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	43,48
$f_{ck}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	2,50

Fonte: Autor (2017)

Onde:

$g + q$ : carga estimada sobre as vigas para cálculo das reações nos pilares;

$n$ : número de pavimentos da edificação;

$\rho$ : taxa de armadura (2% da área de aço);

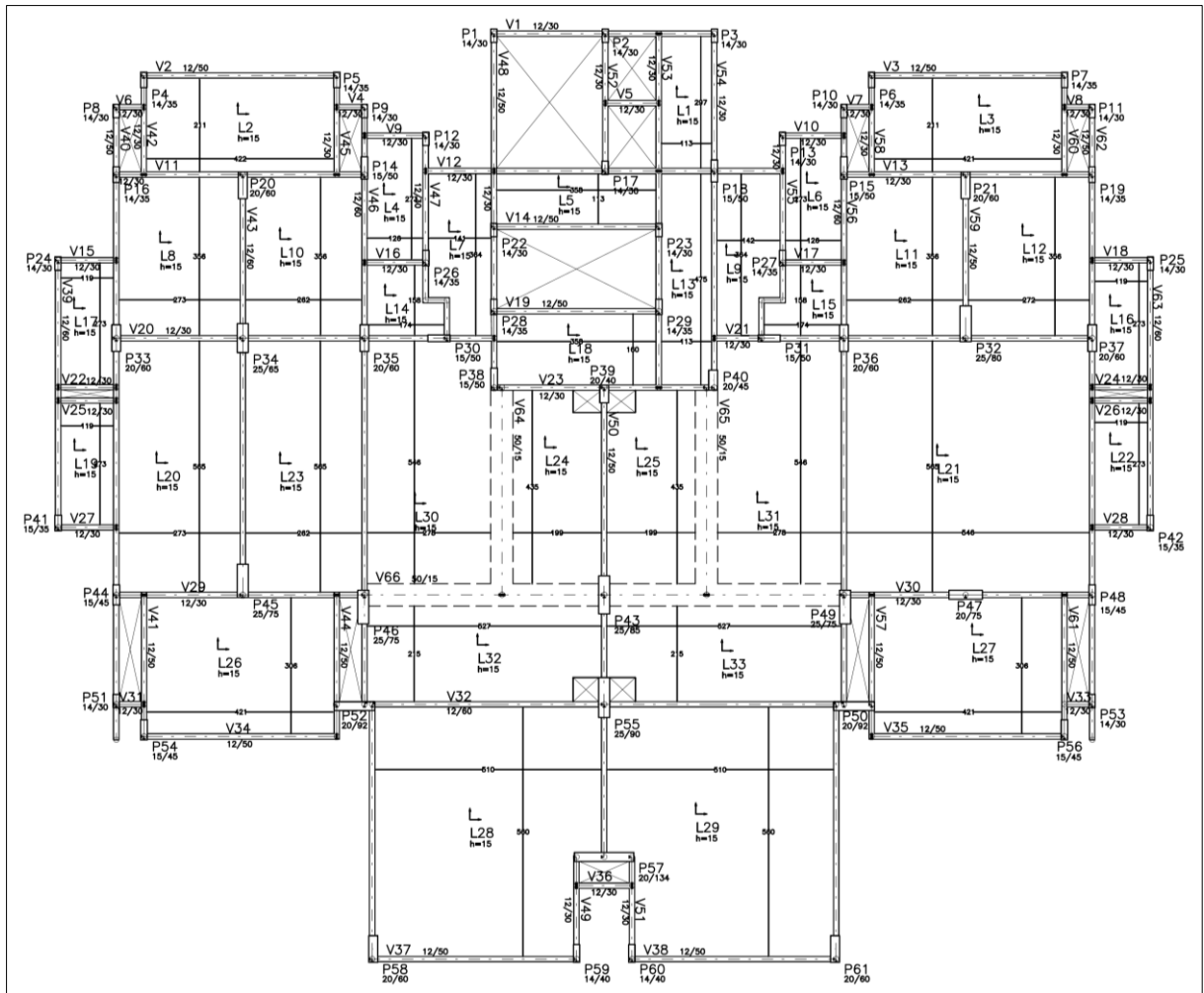
$\sigma_{s2}$ : resistência de cálculo do aço (CA50);

$f_{ck}$ : resistência característica do concreto (C25).

#### **6.4 Definição da região crítica**

A região com alta concentração de eletrodutos foi delimitada segundo as características apresentadas em Silva (2015). Com a finalidade de criar condições adequadas de vinculação, foram adicionadas vigas-faixa no contorno. Esses elementos foram definidos com mesmas características da laje adjacente, a fim de que se comportasse de maneira semelhante. A utilização de vigas-faixa pode ser vista em Fonseca (2015), onde foi empregada como viga de apoio de laje nervurada. Em lajes maciças, são consideradas vigas de apoio de grande rigidez, para que a deformação da laje seja nula em sua região de contorno.

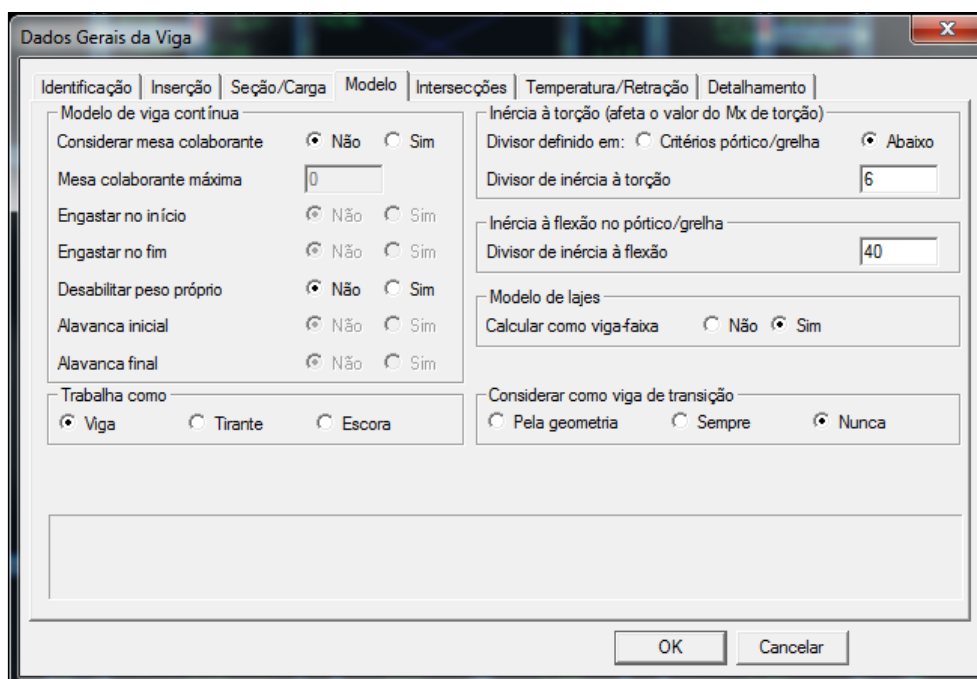
Figura 9 – Planta de formas do pavimento tipo



Fonte: Autor (2017)

A largura de cada viga-faixa foi definida em 50 cm – maior do que o espaçamento entre as barras da grelha (35 cm), porém suficiente para distribuição da armadura necessária. Sua utilização em todas as situações de projeto simuladas teve caráter apenas de comparação de dados, visto que as vigas-faixa não são necessárias quando não há diferença de espessura entre as lajes adjacentes. Os dados de entrada no TQS podem ser vistos na Figura 10.

Figura 10 – Parâmetros de entrada da viga-faixa



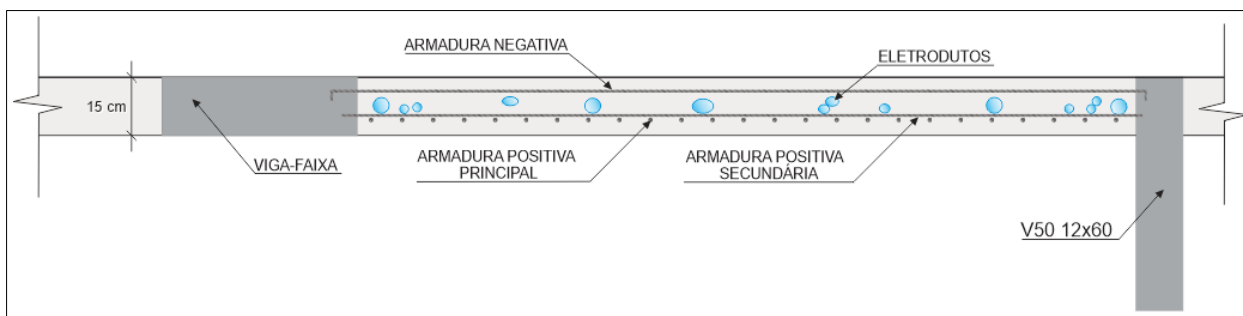
Fonte: Autor (2017)

A espessura da região crítica foi reduzida em 5 cm, simulando a sobreposição de duas tubulações de 25 mm. Há situações piores, onde tubulações de 40 mm de diâmetro são sobrepostas, resultando em um vazio de 8 cm. Entretanto, essa situação não foi modelada no programa TQS devido à inviabilidade de engastamento entre lajes e consequente não processamento global da edificação.

O nivelamento dessa região foi feito a partir da face superior das lajes, uma vez que as instalações devem ser colocadas em cima da armadura positiva e, em alguns lugares, posicionadas rente às formas para instalação de pontos de luz nos cômodos. Dessa forma, os vazios são localizados na metade inferior da seção transversal da laje, e é a armadura negativa que precisa apresentar continuidade para suportar os esforços existentes.

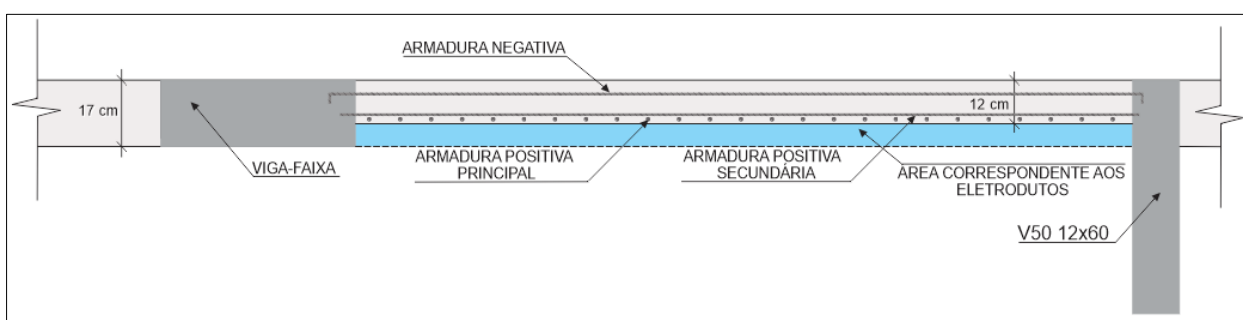
A espessura das lajes adjacentes à região crítica foi definida em 17 cm, a fim de criar vínculo suficiente de engastamento. As demais lajes do pavimento tiveram espessura de 15 cm mantida. A Figura 11 indica o corte da seção transversal na consideração inicial de todas as lajes com 15 cm de espessura. Já a Figura 12 mostra a definição da região crítica.

Figura 11 – Situação inicial: lajes com 15 cm



Fonte: Autor (2017)

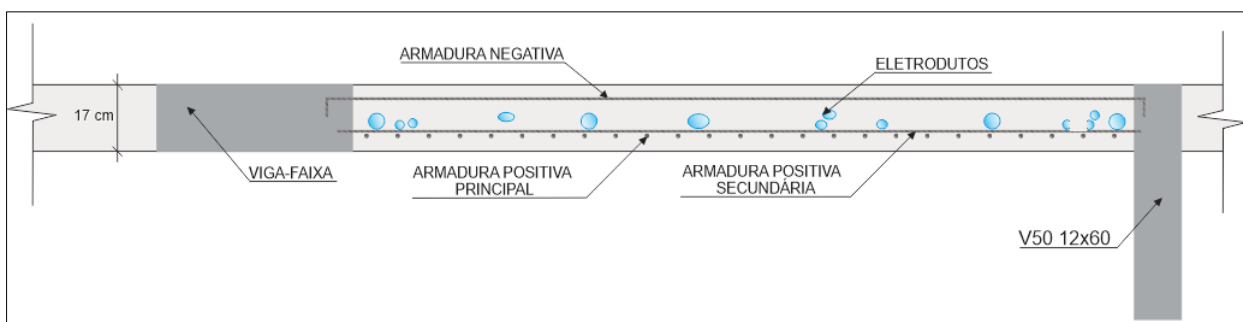
Figura 12 – Situação crítica: rebaixo de 12 cm



Fonte: Autor (2017)

Para representar uma situação real foi simulada uma opção em que a laje com maior concentração de eletrodutos foi dimensionada com 17 cm, enquanto as demais lajes do pavimento tipo permaneceram com 15 cm. Nessa situação não somente a região crítica, mas toda a laje inicial por ela formada teve sua espessura aumentada. Isso é feito de modo a levar em consideração a possível redução de resistência da laje, porém sem abordar uma análise mais profunda acerca de suas implicações. A Figura 13 exemplifica a seção transversal para a solução citada.

Figura 13 – Situação real: solução para dimensionamento

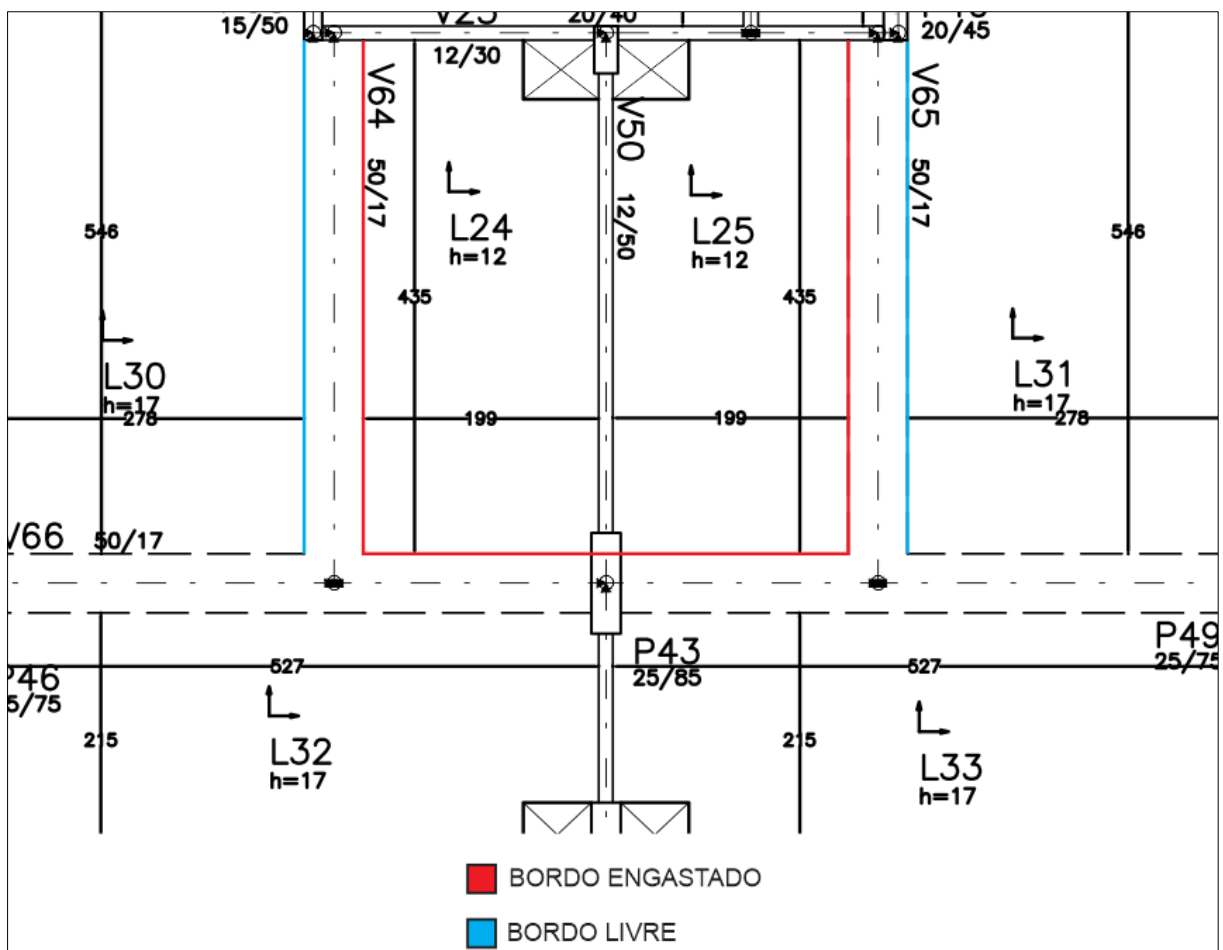


Fonte: Autor (2017)

## 6.5 Condições de contorno e processamento global

A definição padrão do programa é considerar as lajes simplesmente apoiadas umas às outras. Essa condição foi alterada apenas na região crítica sujeita a análise: a laje de 12 cm foi engastada e a laje de 17 cm foi adotada com bordo livre. A laje de 12 cm recebeu carregamento adicional correspondente à camada de 5 cm retirada, tomando como base o peso específico do concreto simples de  $24 \text{ kN/m}^3$ , estabelecido na ABNT NBR 6120:1980. A Figura 14 indica a localização das vigas-faixa e as condições de apoio alteradas para representação da situação crítica.

Figura 14 – Viga-faixa nas condições de contorno



Fonte: Autor (2017)

O processamento global foi realizado para as três situações apresentadas. Devido à escolha do modelo estrutural feita anteriormente, pôde-se optar por análise de grelha não linear da edificação, onde são fornecidas as flechas e fissuras das lajes.

Para a análise de custos realizada pelo programa foram inseridos os preços unitários do concreto, aço e formas de madeira, incluindo material e mão de obra. Os valores adotados para os respectivos itens foram de R\$215,00/m<sup>3</sup>, R\$5,00/kg e R\$35,00/m<sup>2</sup>, fornecidos pelo TQS e baseados no mercado da construção civil em 2017.

## **7 Resultados**

A seguir são mostrados os resultados de flechas, fissuras e quantitativos de armaduras para as situações modeladas no TQS. Os dados são analisados e, posteriormente, são indicadas outras soluções a serem executadas no mesmo programa computacional e suas comparações com os resultados já obtidos.

### **7.1 Situações modeladas**

Pode-se separar os resultados conforme as situações delimitadas anteriormente. São elas:

- Situação 1: todas as lajes do pavimento apresentam 15 cm de espessura;
- Situação 2: as lajes do pavimento apresentam 15 cm de espessura, com exceção das lajes L24, L25 e L30 a L33, onde adotou-se 17 cm;
- Situação 3: as lajes do pavimento apresentam 15 cm de espessura, com exceção das lajes L30 a L33, com 17 cm, e das lajes L24 e L25, com 12 cm – representando a concentração de eletrodutos.

A discussão dos resultados terá enfoque no comportamento das lajes L24 e L25, onde está presente a maior concentração de eletrodutos e foram modeladas diferentes versões da estrutura. Nas figuras onde estão os esquemas de deslocamentos do pavimento modelado, os valores estão em centímetros, em escala de cores do azul ao vermelho, indicando dos menores aos maiores deslocamentos. Nas figuras constando o esquema de fissuras das lajes, estão indicadas as fissuras superiores, em amarelo, e as fissuras inferiores, em verde, ambas com medidas em milímetros.

Para a situação 1 os deslocamentos resultantes estão na Tabela 2 e podem ser observadas na Figura 15. As fissuras são mostradas na Figura 16, e os valores mais significativos obtidos na região de análise de vazios dos eletrodutos estão na Tabela 3. As armaduras obtidas através do TQS estão na Tabela 4.

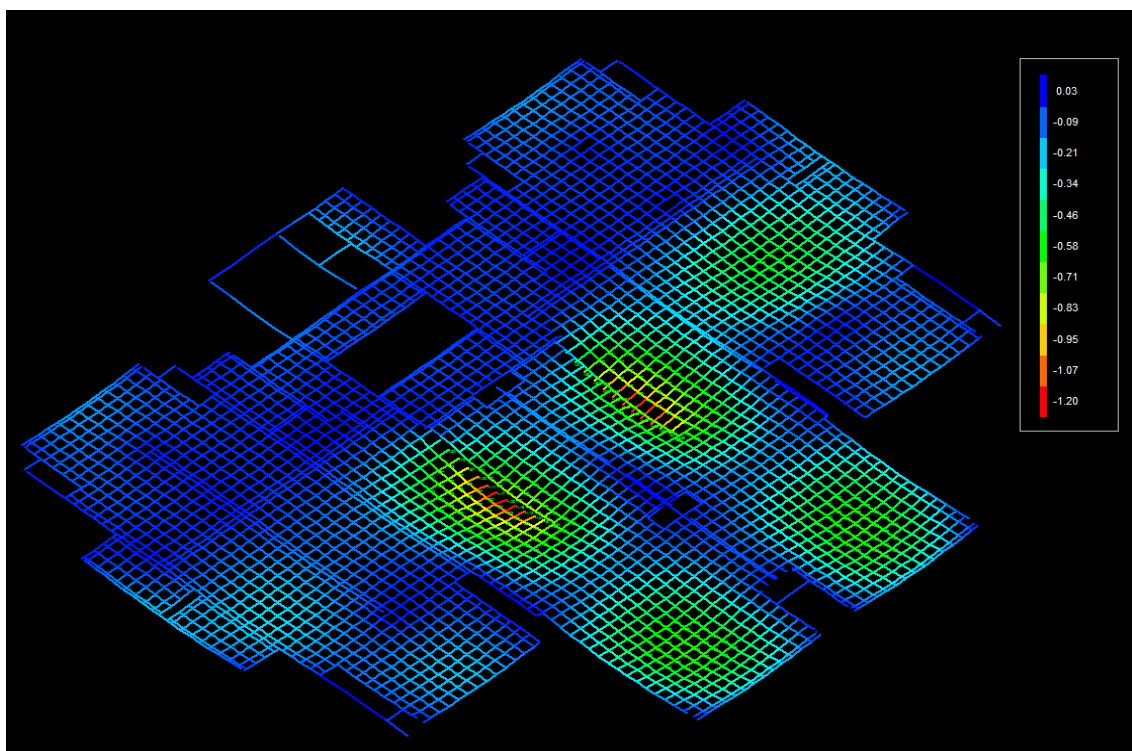
Tabela 2 – Deslocamentos nas lajes para situação 1

<b>FLECHAS</b>						
<b>Laje</b>	<b>Lx (cm)</b>	<b>Ly (cm)</b>	<b>Flecha (cm)</b>	<b>Flecha limite (cm)</b>	<b>Relação entre flechas (%)</b>	<b>VERIFICAÇÃO</b>
L1	113	297	0,16	0,45	35%	OK
L2	211	422	0,15	0,84	18%	OK
L3	211	421	0,15	0,84	18%	OK
L4	126	273	0,05	0,50	10%	OK
L5	113	358	0,10	0,45	22%	OK
L6	126	273	0,03	0,50	6%	OK
L7	141	364	0,10	0,56	18%	OK
L8	273	356	0,07	1,09	6%	OK
L9	142	364	0,05	0,57	9%	OK
L10	262	356	0,04	1,05	4%	OK
L11	262	356	0,05	1,05	5%	OK
L12	272	356	0,08	1,09	7%	OK
L13	113	475	0,06	0,45	13%	OK
L14	158	174	0,01	0,63	2%	OK
L15	158	174	0,01	0,63	2%	OK
L16	119	273	0,16	0,48	34%	OK
L17	119	273	0,19	0,48	40%	OK
L18	160	358	0,05	0,64	8%	OK
L19	119	273	0,21	0,48	44%	OK
L20	273	565	0,25	1,09	23%	OK
L21	546	565	0,52	2,18	24%	OK
L22	119	273	0,24	0,48	50%	OK
L23	262	565	0,18	1,05	17%	OK
<b>L24</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,67</b>	<b>0,80</b>	<b>84%</b>	<b>OK</b>
<b>L25</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,54</b>	<b>0,80</b>	<b>68%</b>	<b>OK</b>
L26	306	421	0,21	1,22	17%	OK
L27	306	421	0,17	1,22	14%	OK
L28	510	560	0,62	2,04	30%	OK
L29	510	560	0,61	2,04	30%	OK
L30	278	546	1,04	1,11	94%	OK
L31	278	546	0,94	1,11	85%	OK
L32	246	522	0,59	0,98	60%	OK
L33	246	522	0,54	0,98	55%	OK

Fonte: Autor (2017)

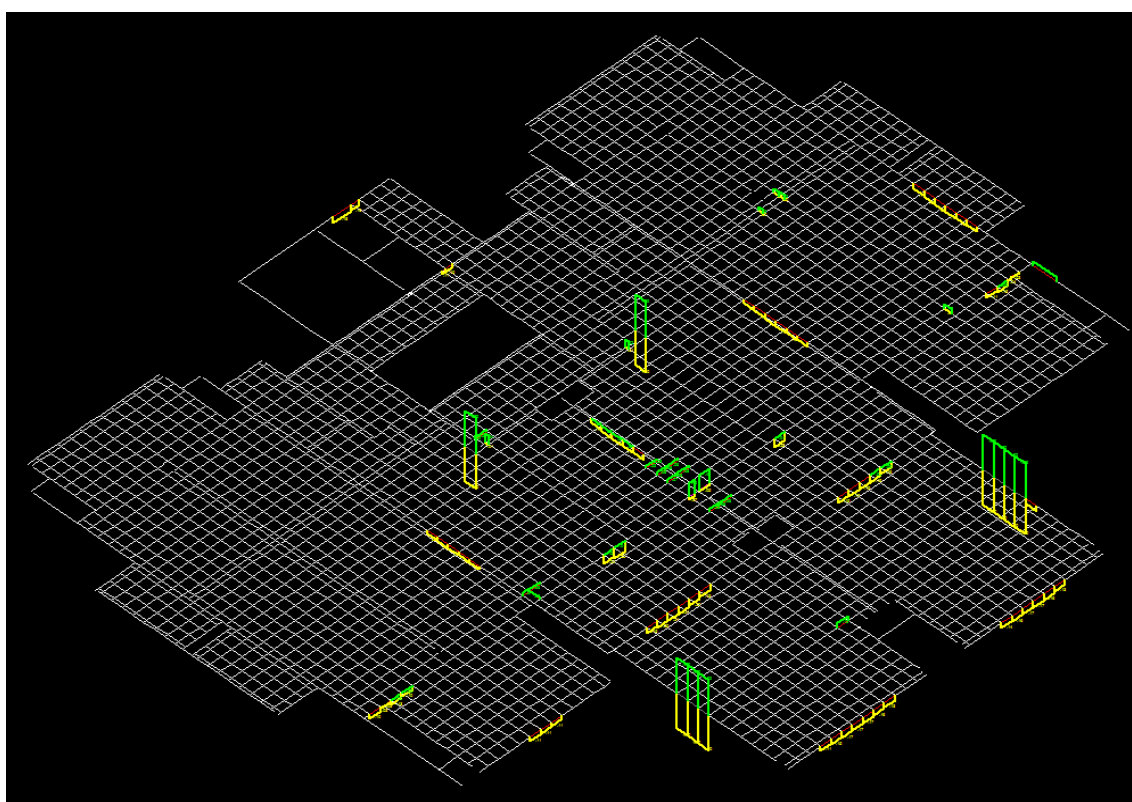


Figura 15 – Esquema de deslocamentos para situação 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 16 – Esquema de fissuras para situação 1



Fonte: Autor (2017)

Tabela 3 – Fissuras críticas para situação 1

<b>FISSURAS</b>	
<b>Inferiores (mm)</b>	<b>Superiores (mm)</b>
0,14	0,07
0,15	0,08
0,16	0,40
<b>Média (mm)</b>	
0,15	0,18

Fonte: Autor (2017)

Tabela 4 – Armaduras para situação 1

<b>ARMADURAS</b>							
<b>Armadura Negativa Horizontal</b>				<b>Armadura Negativa Vertical</b>			
<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
60B	5	1106	170	50A	6,3	1629	399
50A	6,3	2102	515	50A	8	209	82
50A	8	276	109	50A	10	123	76
50A	10	144	89	50A	12,5	43	41
50A	12,5	58	56				
Peso total 60B (kg)			170	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			768	Peso total 50A (kg)			598
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>938</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>598</b>
<b>Armadura Positiva Horizontal</b>				<b>Armadura Positiva Vertical</b>			
<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
50A	8	1794	709	50A	8	1899	750
50A	10	122	75				
Peso total 60B (kg)			-	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			784	Peso total 50A (kg)			750
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>784</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>750</b>
<b>Total Armadura Negativa (kg)</b>				1536,00			
<b>Total Armadura Positiva (kg)</b>				1534,00			
<b>TOTAL ARMADURAS (kg)</b>				<b>3070,00</b>			

Fonte: Autor (2017)

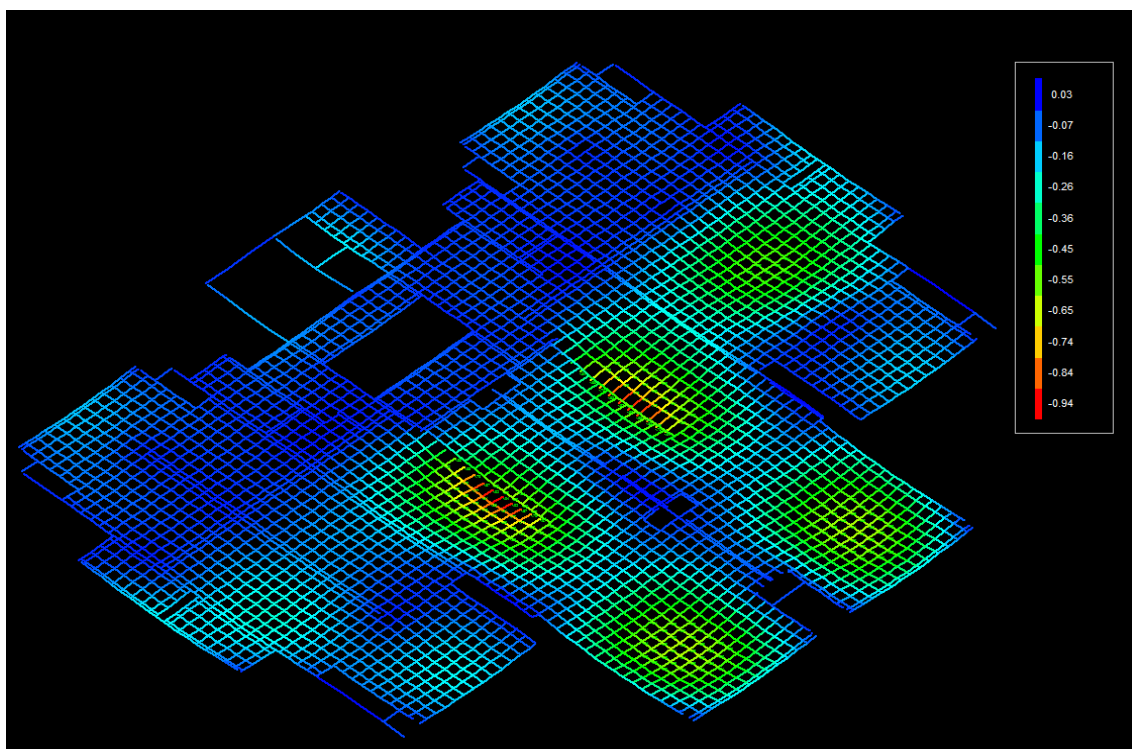
Para a situação 2 os deslocamentos resultantes estão na Tabela 5 e podem ser observadas na Figura 17. As fissuras são mostradas na Figura 18, e os valores mais significativos obtidos na região de análise de vazios dos eletrodutos estão na Tabela 6. As armaduras obtidas através do TQS estão na Tabela 7.

Tabela 5 – Deslocamentos nas lajes para situação 2

<b>FLECHAS</b>						
<b>Laje</b>	<b>Lx (cm)</b>	<b>Ly (cm)</b>	<b>Flecha (cm)</b>	<b>Flecha limite (cm)</b>	<b>Relação entre flechas (%)</b>	<b>VERIFICAÇÃO</b>
L1	113	297	0,16	0,45	35%	<b>OK</b>
L2	211	422	0,15	0,84	18%	<b>OK</b>
L3	211	421	0,15	0,84	18%	<b>OK</b>
L4	126	273	0,05	0,50	10%	<b>OK</b>
L5	113	358	0,10	0,45	22%	<b>OK</b>
L6	126	273	0,03	0,50	6%	<b>OK</b>
L7	141	364	0,10	0,56	18%	<b>OK</b>
L8	273	356	0,07	1,09	6%	<b>OK</b>
L9	142	364	0,05	0,57	9%	<b>OK</b>
L10	262	356	0,04	1,05	4%	<b>OK</b>
L11	262	356	0,05	1,05	5%	<b>OK</b>
L12	272	356	0,08	1,09	7%	<b>OK</b>
L13	113	475	0,06	0,45	13%	<b>OK</b>
L14	158	174	0,01	0,63	2%	<b>OK</b>
L15	158	174	0,01	0,63	2%	<b>OK</b>
L16	119	273	0,16	0,48	34%	<b>OK</b>
L17	119	273	0,19	0,48	40%	<b>OK</b>
L18	160	358	0,05	0,64	8%	<b>OK</b>
L19	119	273	0,21	0,48	44%	<b>OK</b>
L20	273	565	0,25	1,09	23%	<b>OK</b>
L21	546	565	0,52	2,18	24%	<b>OK</b>
L22	119	273	0,24	0,48	50%	<b>OK</b>
L23	262	565	0,18	1,05	17%	<b>OK</b>
<b>L24</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,51</b>	<b>0,80</b>	<b>64%</b>	<b>OK</b>
<b>L25</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,41</b>	<b>0,80</b>	<b>52%</b>	<b>OK</b>
L26	306	421	0,21	1,22	17%	<b>OK</b>
L27	306	421	0,17	1,22	14%	<b>OK</b>
L28	510	560	0,62	2,04	30%	<b>OK</b>
L29	510	560	0,61	2,04	30%	<b>OK</b>
L30	278	546	0,83	1,11	75%	<b>OK</b>
L31	278	546	0,74	1,11	67%	<b>OK</b>
L32	246	522	0,47	0,98	48%	<b>OK</b>
L33	246	522	0,42	0,98	43%	<b>OK</b>

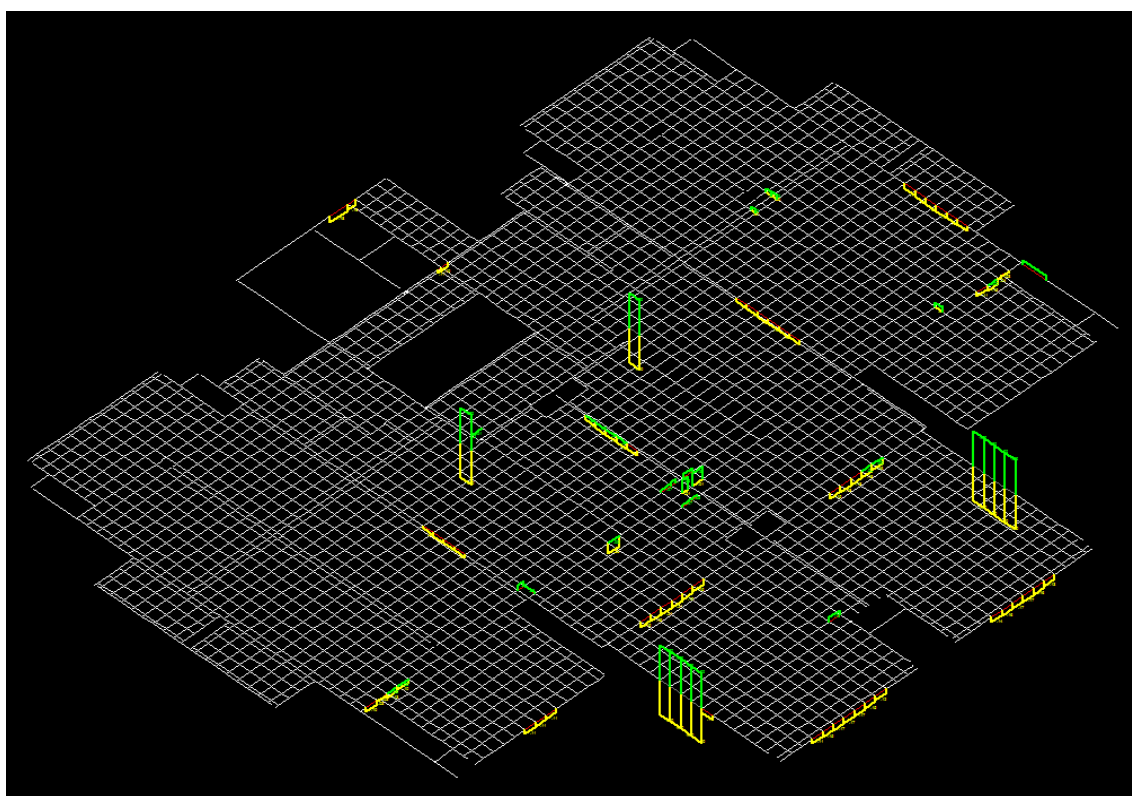
Fonte: Autor (2017)

Figura 17 – Esquema de deslocamentos para situação 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 18 – Esquema de fissuras para situação 2



Fonte: Autor (2017)

Tabela 6 – Fissuras críticas para situação 2

<b>FISSURAS</b>	
Inferiores (mm)	Superiores (mm)
0,12	0,10
0,13	0,11
0,15	0,36
<b>Média (mm)</b>	
0,13	0,19

Fonte: Autor (2017)

Tabela 7 – Armaduras para situação 2

<b>ARMADURAS</b>							
<b>Armadura Negativa Horizontal</b>				<b>Armadura Negativa Vertical</b>			
Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
60B	5	1094	169	50A	6,3	1342	329
50A	6,3	2145	525	50A	8	403	159
50A	8	266	105	50A	10	132	81
50A	10	130	80	50A	12,5	52	50
50A	12,5	52	50	50A	16	4	6
Peso total 60B (kg)			169	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			760	Peso total 50A (kg)			625
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>929</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>625</b>
<b>Armadura Positiva Horizontal</b>				<b>Armadura Positiva Vertical</b>			
Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
50A	8	1842	728	50A	8	1896	749
50A	10	123	76	50A	10	35	22
Peso total 60B (kg)			-	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			803	Peso total 50A (kg)			771
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>803</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>771</b>
<b>Total Armadura Negativa (kg)</b>				1554,00			
<b>Total Armadura Positiva (kg)</b>				1574,00			
<b>TOTAL ARMADURAS (kg)</b>				3128,00			

Fonte: Autor (2017)

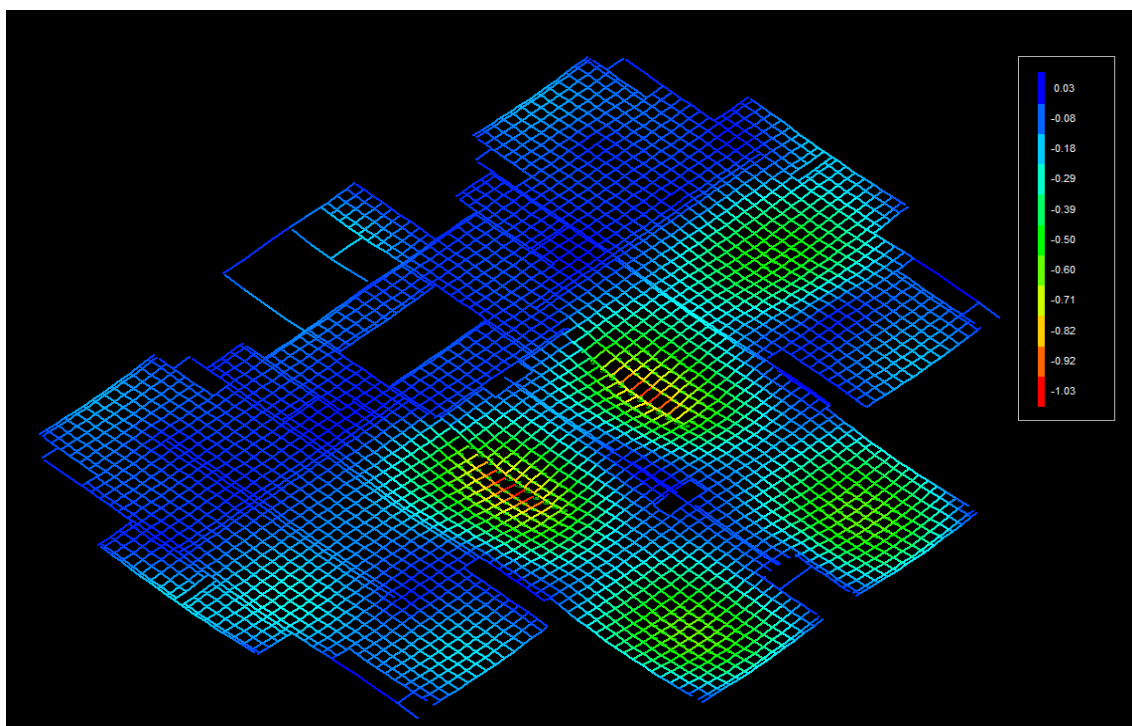
Para a situação 3 os deslocamentos resultantes estão na Tabela 8 e podem ser observadas na Figura 19. As fissuras são mostradas na Figura 20, e os valores mais significativos obtidos na região de análise de vazios dos eletrodutos estão na Tabela 9. As armaduras obtidas através do TQS estão na Tabela 10.

Tabela 8 – Deslocamentos nas lajes para situação 3

<b>FLECHAS</b>						
<b>Laje</b>	<b>Lx (cm)</b>	<b>Ly (cm)</b>	<b>Flecha (cm)</b>	<b>Flecha limite (cm)</b>	<b>Relação entre flechas (%)</b>	<b>VERIFICAÇÃO</b>
L1	113	297	0,16	0,45	35%	OK
L2	211	422	0,15	0,84	18%	OK
L3	211	421	0,15	0,84	18%	OK
L4	126	273	0,05	0,50	10%	OK
L5	113	358	0,10	0,45	22%	OK
L6	126	273	0,03	0,50	6%	OK
L7	141	364	0,10	0,56	18%	OK
L8	273	356	0,07	1,09	6%	OK
L9	142	364	0,05	0,57	9%	OK
L10	262	356	0,04	1,05	4%	OK
L11	262	356	0,05	1,05	5%	OK
L12	272	356	0,08	1,09	7%	OK
L13	113	475	0,06	0,45	13%	OK
L14	158	174	0,01	0,63	2%	OK
L15	158	174	0,01	0,63	2%	OK
L16	119	273	0,16	0,48	34%	OK
L17	119	273	0,19	0,48	40%	OK
L18	160	358	0,05	0,64	8%	OK
L19	119	273	0,21	0,48	44%	OK
L20	273	565	0,25	1,09	23%	OK
L21	546	565	0,52	2,18	24%	OK
L22	119	273	0,24	0,48	50%	OK
L23	262	565	0,18	1,05	17%	OK
<b>L24</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,72</b>	<b>0,80</b>	<b>90%</b>	<b>OK</b>
<b>L25</b>	<b>199</b>	<b>435</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>75%</b>	<b>OK</b>
L26	306	421	0,21	1,22	17%	OK
L27	306	421	0,17	1,22	14%	OK
L28	510	560	0,61	2,04	30%	OK
L29	510	560	0,61	2,04	30%	OK
L30	278	546	0,90	1,11	81%	OK
L31	278	546	0,81	1,11	73%	OK
L32	246	522	0,54	0,98	55%	OK
L33	246	522	0,48	0,98	49%	OK

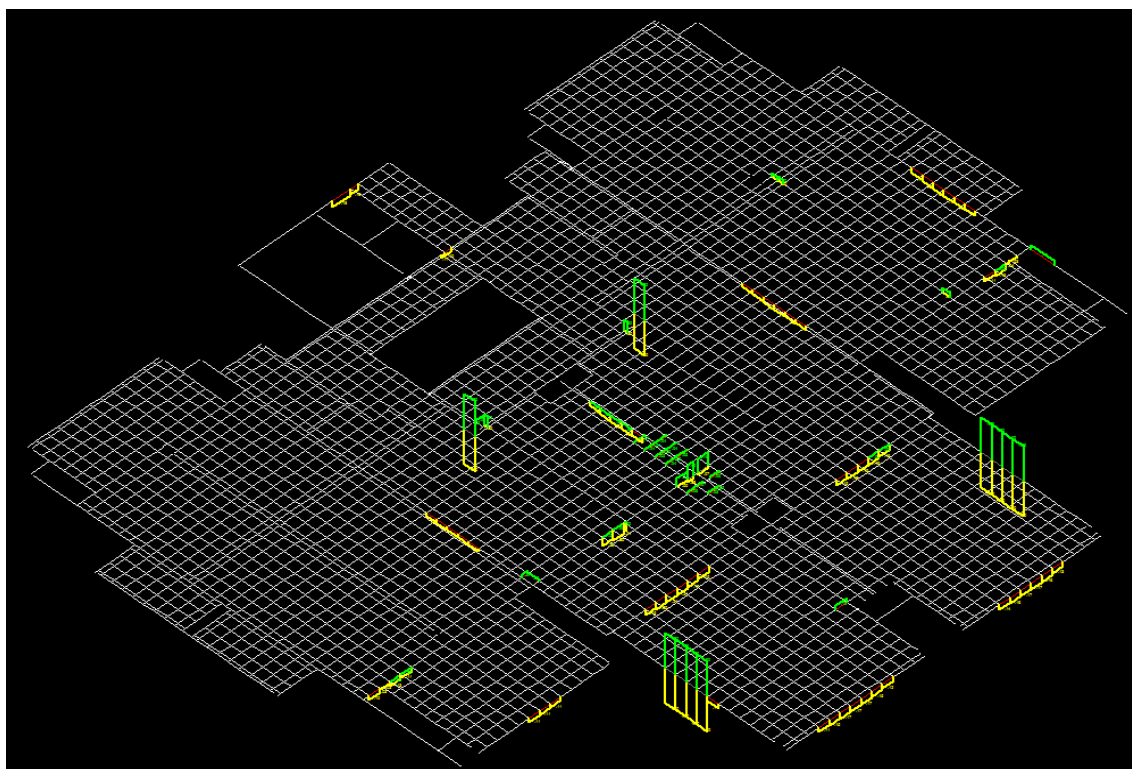
Fonte: Autor (2017)

Figura 19 – Esquema de deslocamentos para situação 3



Fonte: Autor (2017)

Figura 20 – Esquema de fissuras para situação 3



Fonte: Autor (2017)

Tabela 9 – Fissuras críticas para situação 3

<b>FISSURAS</b>	
<b>Inferiores (mm)</b>	<b>Superiores (mm)</b>
0,24	0,07
0,25	0,24
0,30	0,40
<b>Média (mm)</b>	
0,26	0,24

Fonte: Autor (2017)

Tabela 10 – Armaduras para situação 3

<b>ARMADURAS</b>							
<b>Armadura Negativa Horizontal</b>				<b>Armadura Negativa Vertical</b>			
<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
60B	5	1083	167	50A	6,3	1348	330
50A	6,3	1910	468	50A	8	480	190
50A	8	365	144	50A	10	82	51
50A	10	214	132	50A	12,5	49	47
50A	12,5	48	46	50A	16	4	6
Peso total 60B (kg)			167	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			790	Peso total 50A (kg)			623
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>957</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>623</b>
<b>Armadura Positiva Horizontal</b>				<b>Armadura Positiva Vertical</b>			
<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Aço</b>	<b>Bitola (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
50A	6,3	135	33	50A	6,3	210	51
50A	8	1723	681	50A	8	1747	690
50A	10	123	76	50A	10	35	22
Peso total 60B (kg)			-	Peso total 60B (kg)			-
Peso total 50A (kg)			789	Peso total 50A (kg)			763
<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>789</b>	<b>Peso total da laje (kg)</b>			<b>763</b>
<b>Total Armadura Negativa (kg)</b>						1580,00	
<b>Total Armadura Positiva (kg)</b>						1552,00	
<b>TOTAL ARMADURAS (kg)</b>						<b>3132,00</b>	

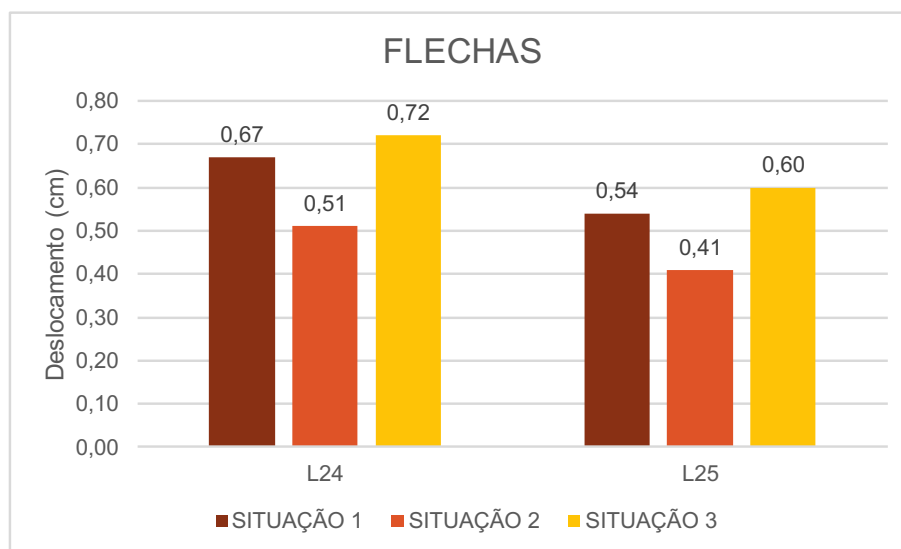
Fonte: Autor (2017)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, o limite de deformação para aceitabilidade sensorial (deslocamento visíveis em elementos estruturais) é de  $l/250$ , onde  $l$  é o menor vão da laje. Os deslocamentos são obtidos pela combinação quase permanente de ações. Com relação aos deslocamentos resultantes, pode-se constatar que as flechas não são excedidas em todas as 3 situações.



As menores flechas na região crítica analisada são obtidas na situação 2, alcançando em média 58% da deformação limite. Consta-se que o dimensionamento com a representação dos vazios dos eletrodutos na região com 12 cm de espessura gera maiores deslocamentos. A situação 1 teve flechas intermediárias, porém pouco inferiores às da situação 3. A Figura 21 compara as flechas resultantes em todos os casos.

Figura 21 – Deslocamentos resultantes nas situações modeladas



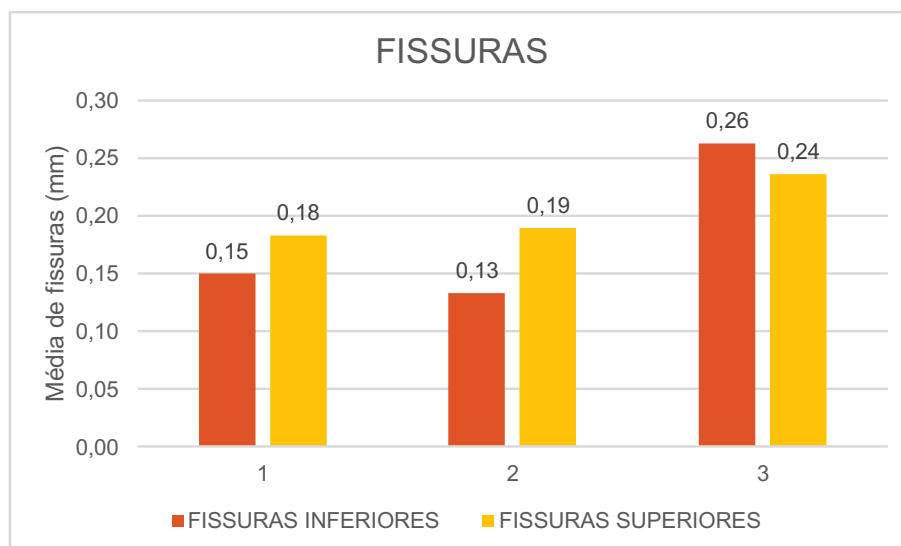
Fonte: Autor (2017)

Os valores adotados para fissuras limites podem ser retirados da ABNT NBR 6118:2014. Segundo a norma, a fissura em elementos para classe CAAll deve atingir no máximo 0,30 mm, e é obtida através da combinação frequente de ações. Nas situações analisadas foi feita uma média dos maiores valores encontrados nas lajes L24 e L25, tanto para fissuras inferiores quanto para superiores. De acordo com os resultados, os valores de fissuras superiores foram maiores que os inferiores nas situações 1 e 2, aumentando em 20 e 46%, respectivamente.

As menores fissuras inferiores apareceram na situação 2. O limite de 0,30 mm não é excedido em situação alguma, porém é mais crítico na situação 3, chegando a 87% do valor máximo de 0,30 mm. Conclui-se que o melhor comportamento das lajes maciças de concreto armado com relação à fissuração acontece na situação 2, onde toda a laje contendo a região de alta concentração de eletrodutos é modelada com 17

cm. Para a situação 1, a qual representa uma solução usual em projetos, as fissuras se mostraram dentro do aceitável, em torno de 50% do valor máximo. A Figura 22 compara os resultados de fissuras superiores e inferiores, onde 1, 2 e 3 são as situações em análise conforme definido anteriormente.

Figura 22 – Fissuras médias resultantes nas situações modeladas

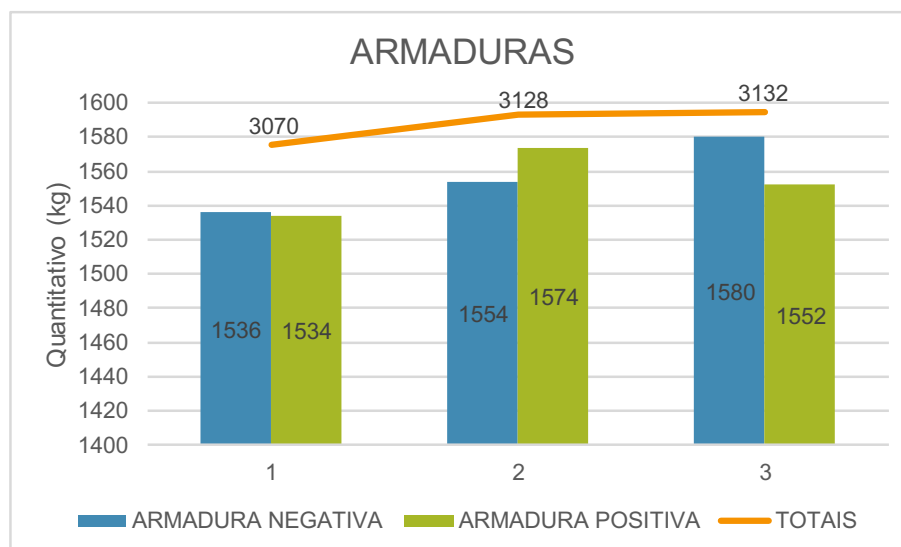


Fonte: Autor (2017)

A quantidade de armadura das lajes foi calculada pelo programa TQS seguindo a taxa mínima estabelecida na ABNT NBR 6118:2014. A maior quantidade de aço foi necessária na situação 3, aproximadamente 2% a mais que nos outros casos. A situação 2 exigiu mais armaduras positivas que as demais, justificado pelo maior peso próprio advindo das lajes de 17 cm de espessura.

A situação 3 apresenta quantidade intermediária de armaduras positivas, porém têm as maiores fissuras nas lajes do pavimento tipo modelado. Em termos de quantidade total de armaduras por pavimento, a situação 3 apresenta desvantagens pelo seu alto consumo. Já a situação 2, uma solução para o problema da região crítica da parte elétrica, indica maior consumo de aço do que a situação 1, todavia têm deslocamentos menores e, por conseguinte, é uma alternativa viável. A representação gráfica dos quantitativos de armaduras pode ser vista na Figura 23, onde 1, 2 e 3 são as situações em análise conforme definido anteriormente.

Figura 23 – Armaduras negativas resultantes nas situações modeladas



Fonte: Autor (2017)

O consumo de materiais foi calculado pelo TQS, assim como seus custos, conforme valores unitários informados ao programa. Os quantitativos obtidos em cada situação modelada no programa computacional podem ser vistos na Tabela 11.

De acordo com os dados obtidos, pôde-se inferir que, com relação ao concreto, o maior consumo ocorre na situação 2 e o menor na situação 1 – onde a espessura das lajes é menor. O consumo de formas, por sua vez, se mantém praticamente constante. O menor consumo de aço é visto na situação 1, e é maior na situação 3. A diferença entre os extremos de consumo de aço é de 1%. A comparação gráfica do consumo de materiais pode ser observada nas Figuras 24 e 25.

Tabela 11 – Comparação de quantitativos e custos

<b>SITUAÇÃO 1</b>			
Elemento	Concreto (m³)	Formas (m²)	Aço (kg)
Lajes	47,60	317,10	3070,00
Vigas	15,00	219,90	1258,00
Pilares	14,50	215,50	1372,00
<b>TOTAL PVTO</b>	<b>77,10</b>	<b>752,50</b>	<b>5700,00</b>
<b>TAXA CONSUMO</b>	<b>0,21 m³/m²</b>	<b>2,10 m²/m²</b>	<b>73,93 kg/m³</b>
<b>CUSTOS</b>	<b>R\$ 16.576,50</b>	<b>R\$ 26.337,50</b>	<b>R\$ 28.500,00</b>
<b>CUSTOS TOTAIS</b>		<b>R\$ 71.414,00</b>	

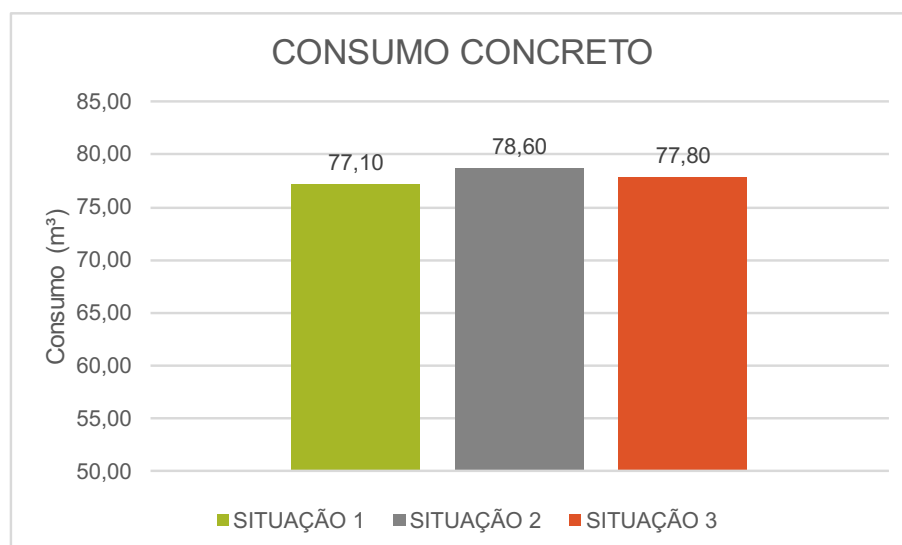
<b>SITUAÇÃO 2</b>			
Elemento	Concreto (m³)	Formas (m²)	Aço (kg)
Lajes	48,90	317,10	3128,00
Vigas	15,20	219,40	1242,80
Pilares	14,50	215,50	1371,30
<b>TOTAL PVTO</b>	<b>78,60</b>	<b>752,00</b>	<b>5742,10</b>
<b>TAXA CONSUMO</b>	<b>0,22 m³/m²</b>	<b>2,07 m²/m²</b>	<b>73,05 kg/m³</b>
<b>CUSTOS</b>	<b>R\$ 16.899,00</b>	<b>R\$ 26.320,00</b>	<b>R\$ 28.710,50</b>
<b>CUSTOS TOTAIS</b>		<b>R\$ 71.929,50</b>	

<b>SITUAÇÃO 3</b>			
Elemento	Concreto (m³)	Formas (m²)	Aço (kg)
Lajes	48,10	317,10	3132,00
Vigas	15,20	220,10	1256,00
Pilares	14,50	215,50	1371,30
<b>TOTAL PVTO</b>	<b>77,80</b>	<b>752,70</b>	<b>5759,30</b>
<b>TAXA CONSUMO</b>	<b>0,21 m³/m²</b>	<b>2,07 m²/m²</b>	<b>74,02 kg/m³</b>
<b>CUSTOS</b>	<b>R\$ 16.727,00</b>	<b>R\$ 26.344,50</b>	<b>R\$ 28.796,50</b>
<b>CUSTOS TOTAIS</b>		<b>R\$ 71.868,00</b>	

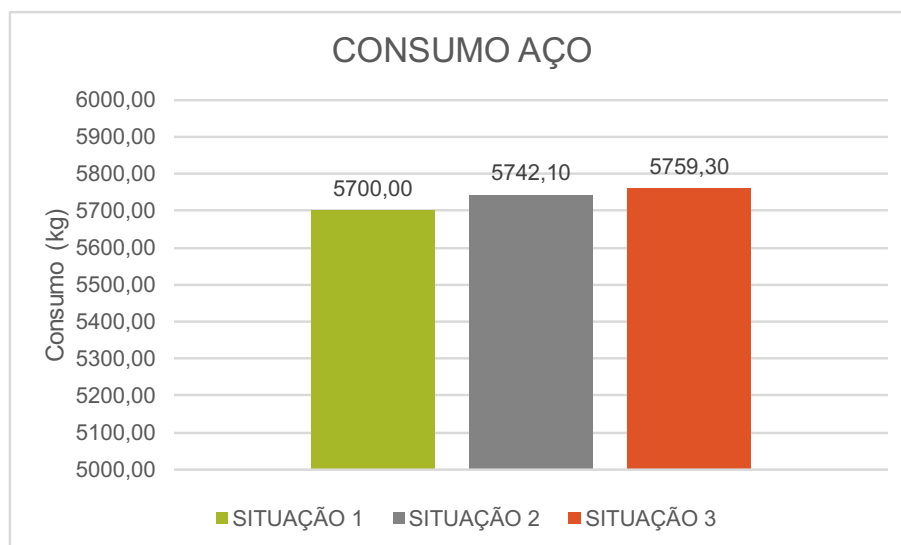
Fonte: Autor (2017)

Figura 24 – Consumo de concreto resultante



Fonte: Autor (2017)

Figura 25 – Consumo de aço resultante



Fonte: Autor (2017)

Com relação aos preços, a situação 2 é em torno de R\$500,00 mais cara que a situação 1, porém apresenta melhor desempenho estrutural. A situação 3 é mais barata que a situação 2, o que se deve ao menor consumo de concreto – embora o consumo de aço seja maior. Logo, se for dimensionada a laje considerando os vazios gerados pelos eletrodutos, os gastos são maiores do que da situação 1, onde tais elementos não são previstos. A situação 2 tem maior consumo de concreto e menor consumo de formas, indicando maior facilidade na execução da obra.

## 7.2 Outras soluções estruturais

As soluções apresentadas anteriormente foram definidas conforme disponibilidade do programa computacional utilizado e para comparação entre as informações resultantes. Há, entretanto, outras considerações que podem ser feitas e também merecem investigação e estudo.

As lajes que comportam a região crítica delimitada, L24 e L25, tiveram suas condições de apoio conforme indicado na Figura 19. A vinculação na viga V50 foi adotada como apoio simples; dessa maneira, os momentos positivos são mais críticos. Uma solução para esse problema é considerar tais lajes engastadas na viga central, implicando em sua continuidade e fazendo com que a distribuição de esforços seja mais uniforme.

Essa alteração foi modelada no TQS para as situações 2 e 3 deste trabalho. Todavia, os deslocamentos, fissuras e quantitativos de armaduras permaneceram praticamente os mesmos, em decorrência da pequena largura dos vãos em análise.

Foram utilizadas vigas-faixa para delimitar a região com maior concentração de eletrodutos no pavimento tipo. É possível, também, fazer essa separação através da ferramenta de fechamento de bordo disponibilizada no programa TQS. Com esta opção, foram observadas consideráveis reduções nas fissuras, uma vez que a maioria existente estava concentrada no contorno da viga-faixa. A situação 2 não apresentou fissuras inferiores, e as superiores tiveram média de 0,14 mm, 37% menores do que no modelo com vigas-faixa. A situação 3 teve comportamento semelhante, com média de fissuras superiores igual a 0,13 mm. A comparação entre os resultados de flechas e totais de armaduras constam na Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação de dados para modelo com fechamento de bordo

<b>SITUAÇÃO 2</b>				
<b>CRITÉRIO</b>		<b>VIGA-FAIXA</b>	<b>FECHAMENTO DE BORDO</b>	<b>RELAÇÃO (%)</b>
<b>Flecha (m)</b>	<b>L24</b>	0,51	0,36	71%
	<b>L25</b>	0,41	0,31	76%
<b>Armadura Negativa (kg)</b>		1554,00	1382,00	89%
<b>Armadura Positiva (kg)</b>		1574,00	1516,00	96%
<b>Armaduras Totais (kg)</b>		3128,00	2898,00	93%

<b>SITUAÇÃO 3</b>				
<b>CRITÉRIO</b>		<b>VIGA-FAIXA</b>	<b>FECHAMENTO DE BORDO</b>	<b>RELAÇÃO (%)</b>
<b>Flecha (m)</b>	<b>L24</b>	0,72	0,48	67%
	<b>L25</b>	0,60	0,40	67%
<b>Armadura Negativa (kg)</b>		1580,00	1414,00	89%
<b>Armadura Positiva (kg)</b>		1552,00	1514,00	98%
<b>Armaduras Totais (kg)</b>		3132,00	2928,00	93%

Fonte: Autor (2017)

Uma opção realista – porém mais trabalhosa – para representar a variação no comportamento da seção transversal da laje devido à presença de eletrodutos consiste na variação de sua inércia. As lajes são dimensionadas no estágio I, onde não há fissuração; para cálculo das fissuras no ELS é considerado seu comportamento no estágio II. Ao ser calculada a relação  $I_{II}/I_I$  entre as inércias, obtém-se um divisor de inércia à flexão. Esse valor é, então, inserido nas propriedades

das barras da região crítica do modelo de grelha processado, e indica a diminuição da seção resistente do concreto causada pela parte elétrica.

Um ponto positivo nesse modelo de análise é o fato de não inserir descontinuidades entre as lajes, o que simula uma região frágil na seção transversal e crítico na distribuição de armaduras e, contudo, não acontece na execução da obra. Deve-se atentar, entretanto, para a redução limite da inércia à flexão estabelecida na ABNT NBR 6118:2014.

## **8 Conclusão**

Através dos resultados obtidos percebe-se que, ao se considerar os efeitos da redução de seção originada pelos eletrodutos instalados na laje (situação 3), a edificação comporta-se no limite da sua capacidade estrutural, gerando flechas e fissuras próximas aos valores limites da ABNT NBR 6118:2014. Esse fato indica que, na realidade, o quantitativo de materiais deveria ser maior para atender os esforços existentes quando comparado ao dimensionamento da situação 1.

A ABNT NBR 6118:2014 traz recomendações a respeito da influência de eletrodutos apenas para a dimensão das mesas de lajes nervuradas. Nessas situações, o valor mínimo estipulado é de 5 cm quando existirem tubulações com diâmetro de até 10 mm. Quando há a presença de diâmetros maiores, a espessura deve ser de  $4\text{ cm} + \Phi$  ou  $4\text{ cm} + 2\Phi$  (quando há cruzamento de tubulações), onde  $\Phi$  é o diâmetro.

Do ponto de vista estrutural as melhores soluções são a adoção de maior espessura ou acréscimo de carregamento de contrapiso na laje crítica. A primeira sugestão, conforme apresentada na situação 2 dos resultados do TQS, também é de grande vantagem construtiva. Além de originar menores flechas e fissuras do que a situação convencional de 15 cm ou mesmo a representação da situação com vazios na seção, o pequeno aumento no quantitativo de materiais e custos não inviabiliza essa solução.

Com todas as soluções citadas à disposição, a que se mostra de melhor uso e que apresenta vantagens construtivas e estruturais é a situação 2 modelada

computacionalmente. Nela, o aumento da espessura da laje onde é detectada a maior concentração de eletrodutos é um procedimento de fácil execução em obra e que supre as possíveis perdas de resistência devido à má colocação de eletrodutos e má execução dos espaçamentos e cobrimentos.

É preciso, todavia, levar em conta que a inserção de fechamento de bordo no TQS ao invés de vigas-faixa e a consideração da redução de inércia da seção onde a concentração de eletrodutos é alta são opções mais eficientes. A redução de inércia se mostra efetiva principalmente no aspecto de não gerar descontinuidades que não existem nas lajes, sendo uma representação mais fiel da realidade.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se citar a continuidade das análises aqui descritas por meio da variação dos dados de entrada. Ainda são necessárias validações de modelos com lajes de maiores vãos onde a concentração de eletrodutos é alta, considerando vigas-faixa e fechamento de bordo como condições de contorno. Além disso, sugere-se um estudo embasado no método dos elementos finitos, utilizando por exemplo o programa Ansys. Dessa forma, é possível visualizar o desempenho das lajes em um nível mais detalhado, obtendo resultados mais próximos de seu comportamento real.

## **9 Considerações finais**

Uma alternativa prática – e provavelmente a mais simples – na resolução do problema em debate é a utilização de caixas de passagem. Dessa maneira, é evitada a sobreposição de eletrodutos e a redução da seção efetiva de concreto é menor. Entretanto, em algumas situações, mesmo a passagem de um único elemento gera imperfeições na laje que comprometem seu desempenho estrutural.

Há ainda soluções que são melhores construtivamente, entretanto podem gerar custos maiores. A escolha de lajes treliçadas ou nervuradas facilita o projeto elétrico, visto que nesses tipos de estrutura o posicionamento dos eletrodutos é feito de forma mais simples devido aos vazios próprios do modelo escolhido. Além disso, essas lajes



apresentam menor peso próprio, aliviando a ação permanente total da edificação e permitindo, assim, fundações mais leves.

Deve-se atentar para o fato de que, em edifícios com múltiplos pavimentos, a laje treliçada não oferece travamento suficiente para evitar grandes deslocamentos globais, gerando assim esforços adicionais para a estrutura. As lajes pré-moldadas, conforme explicitado anteriormente, constituem uma opção viável, exigindo conhecimento prévio dos projetos de instalações para definição do projeto estrutural.

A utilização do programa computacional TQS para análise do comportamento das lajes se mostrou de grande auxílio. Através dele foi possível realizar o pré-dimensionamento da estrutura, definir os carregamentos e alterar as características das lajes. Posteriormente, obteve-se os detalhamentos dos elementos, assim como quantitativos de materiais e estimativa de custo. O programa apresenta como desvantagem o fato de não possibilitar a inserção de furos na seção transversal de lajes, forçando o usuário a se prover de outras alternativas para considerar os possíveis vazios. Dessa maneira, a análise estrutural do presente trabalho foi adaptada às ferramentas disponibilizadas pelo programa utilizado.

Existem outros programas computacionais além do TQS por meio dos quais é possível realizar análises estruturais. No programa computacional Eberick, a elevação de lajes é permitida apenas para fins de detalhamento; não são feitas considerações no dimensionamento da laje ou da viga (ALTOQI, 2017). No manual consultado do programa computacional Cypecad (MULTIPLUS, 2017), é possível modelar rebaixos ou desníveis. Logo, o modo de consideração dos efeitos dos eletrodutos nas lajes varia segundo a escolha do programa computacional e a experiência e interpretação individuais a cada engenheiro.

## Referências

ALMEIDA, L. C. **Solicitações normais**: Cálculo no estado limite último. Notas de aula. Campinas: UNICAMP, 2002.

ALTOQI. **Tutoriais**: menu elementos – Elevação de lajes. Disponível em: <<http://www.help.altoqi.com.br/Eberick>>. Acesso em: 26 out. 2017.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Vol. 2. 3 ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2010.

ARAÚJO, J. M. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. 2 ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

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

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

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 2 ed. São Carlos: USP, 2000.

ESO UFRGS. **Estágio Supervisionado em Obra**: Concretagem de laje convencional. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/eso>>. Acesso em: 16 out. 2017.

FONSECA, L. P. **Comparativo entre laje nervurada com vigas-faixa e laje maciça protendida**. Santa Maria: UFSM, 2015.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: Solicitações normais**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A., 1981.

FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1995.

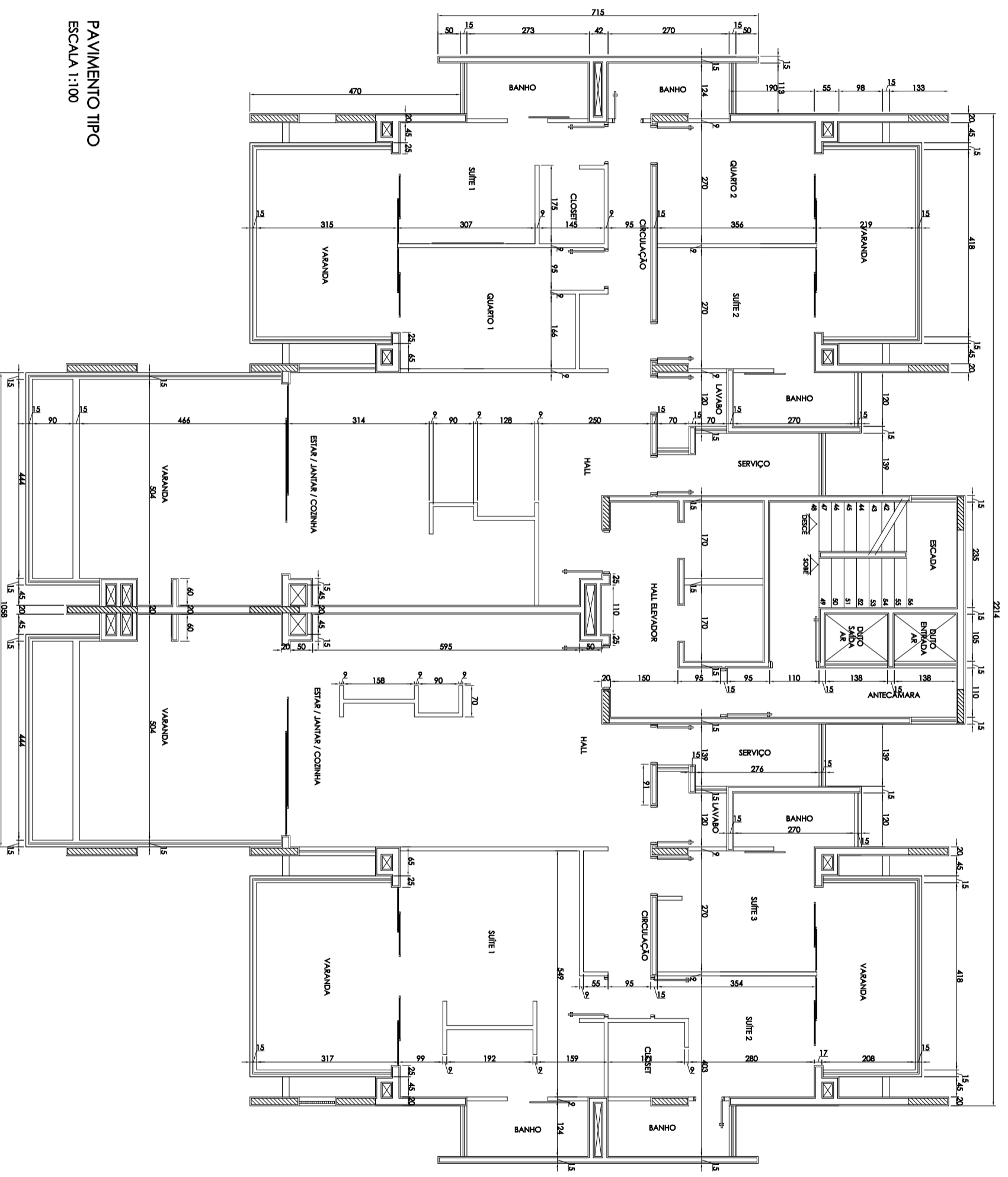
MULTIPLUS. **Softwares técnicos: Cypecad**. Disponível em: <<http://www.multiplus.com/CYPECAD/>>. Acesso em: 31 out. 2017.

SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado**. Vol. 1. 2 ed. São Paulo: USP, 1983.

SILVA, L. C. L. **Análise da variação na taxa de armadura em lajes maciças de concreto armado com alta concentração de eletrodutos**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Faculdade de Engenharia Civil. Uberlândia: UFU, 2015.

SILVA, V. M. *et al.* **Concreto armado: estados limites de serviço – ELS**. Notas de aula. São Carlos: USP, 2006.

## **ANEXO A – PROJETO ARQUITETÔNICO: PAVIMENTO TIPO**



PAVIMENTO TIPO  
ESCALA 1:100



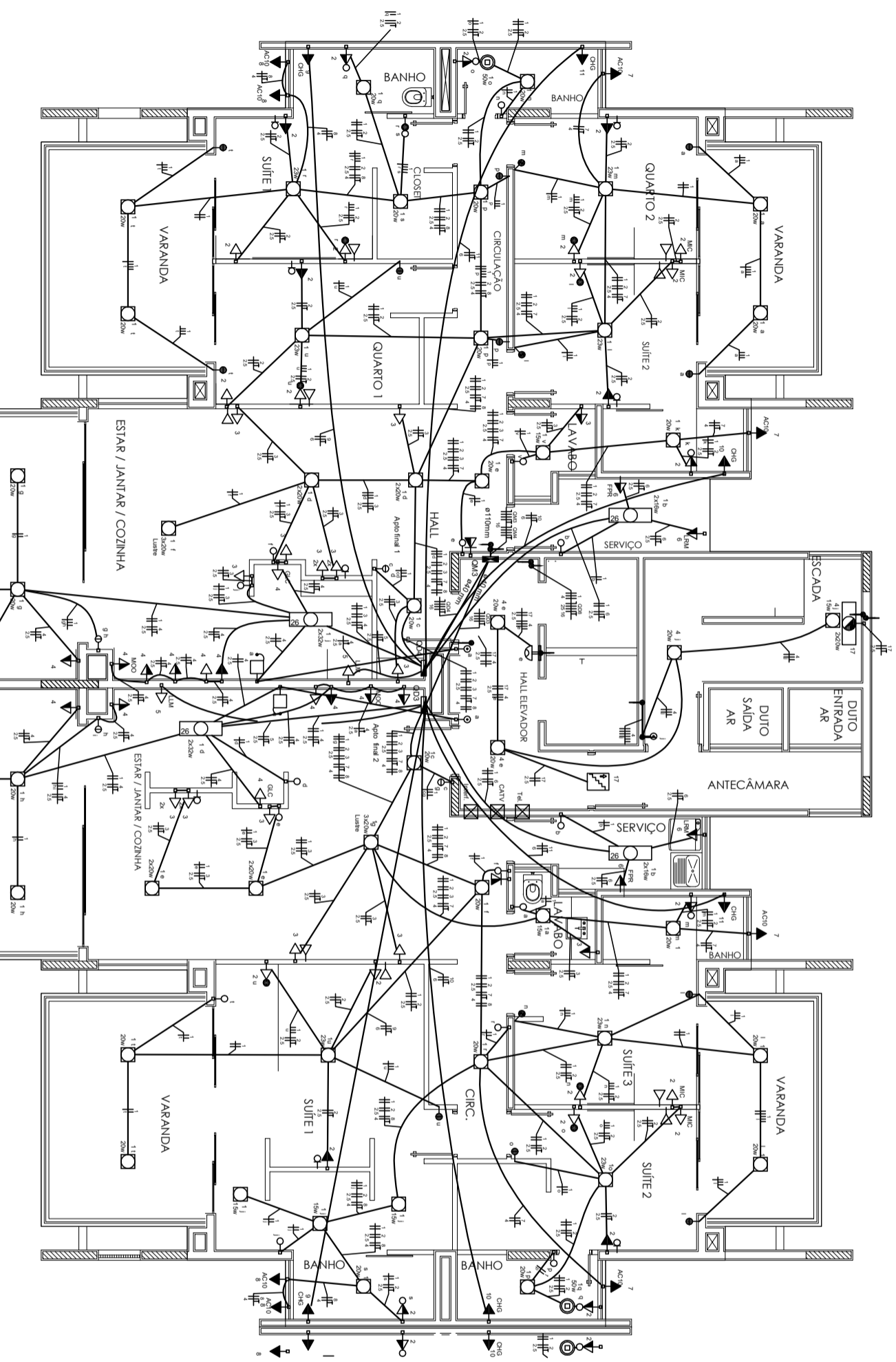
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

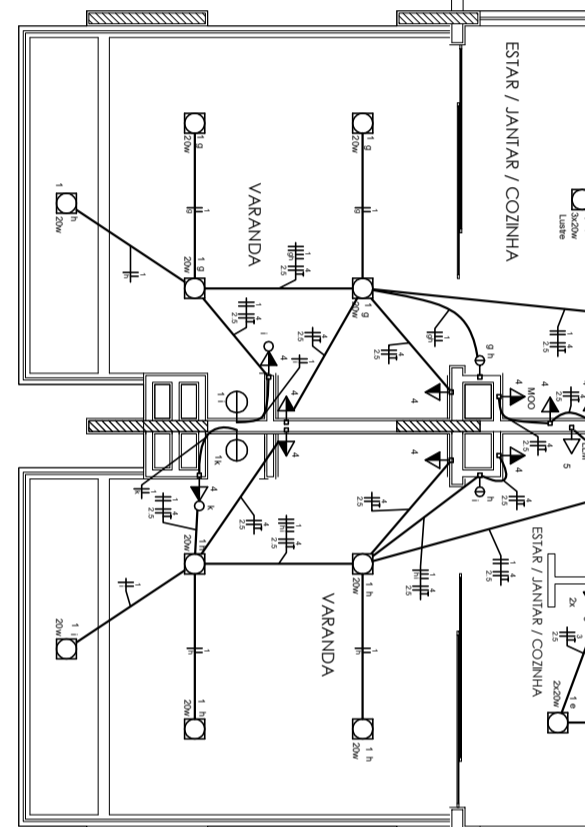
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO	ALUNO	MATRÍCULA
Projeto Arquitetônico - Pavimento tipo	Bruna Caroline Campos	11221ECV020
AUTOR	ORIENTADORA	DATA
Bruna Caroline Campos (adaptado do projeto elétrico)	Maria Cristina Vidigal de Lima	29/11/2017

## **ANEXO B – PROJETO ELÉTRICO: PAVIMENTO TIPO**



PAVIMENTO TIPO  
ESCALA 1:100



Legenda	
	1-leia paralela & 1 tomada 2P+T a 0,70m do piso
	1-leia simples & 1 tomada 2P+T a 1,10m do piso
	Bico autônomo lum. emergência a 2,20m do piso
	Bico autônomo sinal, emergência a 2,20m do piso
	Caixa de embalar na parede
	Caixa de medição embalar a 1,50m do piso
	Caixa de telhado de embalar na parede/rufo
	Campanha - 2,20m do piso
	Interruptor 1 simples e 1 paralelo - 1,10m do piso
	Interruptor autom. por presença a 2,20m do piso
	Interruptor paralelo 1-leia - 1,10m do piso
	Interruptor simples 1-leia - 1,10m do piso
	Interruptor simples 2-leias - 1,10m do piso
	Luminária p/ 2 fluxos, compacta e reator - sobrepôr
	Luminária p/ 3 fluxos, compacta e reator - sobrepôr
	Luminária p/ 1 lamp. flouor, tubular - sobrepôr
	Luminária p/ 1 lamp. halógena decora - sobrepôr
	Luminária p/ 1 lamp. incand. comum - parede
	Luminária spot p/ flouor, compacta e reator - sobrepôr
	Ponto de TV a 0,30m do piso
	Ponto de TV a 2,20m do piso
	Ponto para telefone
	Pulsador de campainha 1-leia - 1,10m do piso
	Quadro de distribuição - embalar a 1,50m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A a 0,30m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A a 0,30m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A a 1,10m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A a 2,20m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 20 A a 1,10m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 20 A a 2,20m do piso
	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A a 0,30m do piso
	Tomada telefônica RJ11 a 0,30m do piso

Legenda da ligação	
	nº de Circuito
	Condutores Neutro, Fase, Retorno e Terra respectivamente
	Eletrodos embutidos no piso
	Eletrodos na parede ou teto
	Eletrodos que sobe
	Eletrodos que desce

Legenda das indicações	
Tel	Caixa de passagem aço pintada - Caixa Tel.
Lubr	Companhia realtor - habitação - 3x20 W
CHG	Tomada - uso específico - Chuveiro grande
AC10	Tomada - uso específico - Condensador de ar 10000BTU
FPR	Tomada - uso específico - Forno de passar roupa
MOO	Tomada - uso específico - Forno microondas
GLC	Tomada - uso específico - Geladeira comum
LLM	Tomada - uso específico - Lava roupa Média
LRM	Tomada - uso específico - Lava roupa Média
MC	Tomada - uso específico - Microcomputador
2x	Tomada hexagonal - 2P+T 10 A (dupla) - baixa

**NOTAS:**  
Os eletrodos não cotados são de 25 mm.  
A ligação não cotada será 1,5m/2 para iluminação e 2,5m/2 para força.  
Instalar eletrodos separados para CATV e Telefone.  
Os diagramas para circuitos de motores e condicionadores de ar deverão ser curva "C" e os demais deverão ser curva "B".

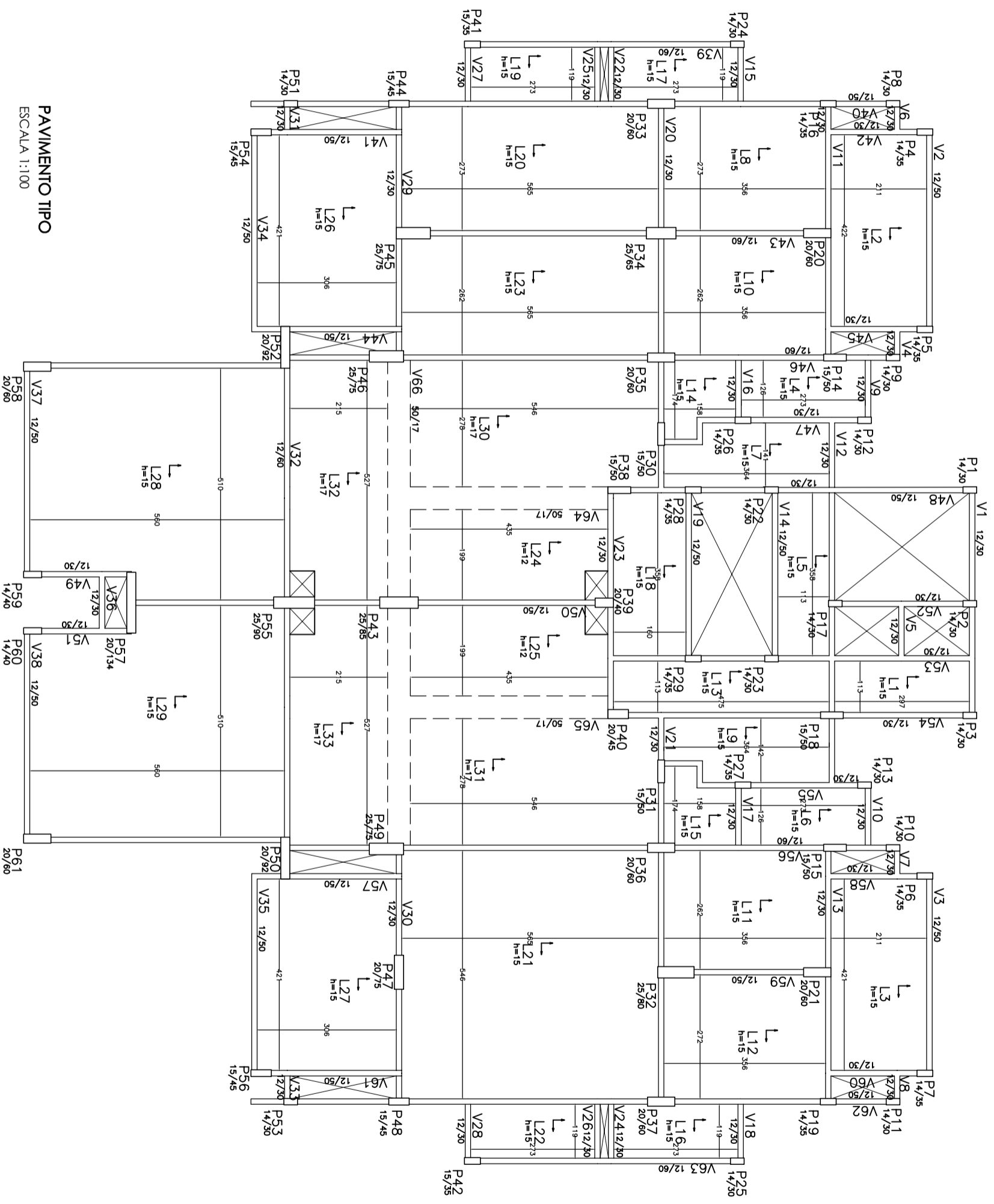


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO	ALUNO	MATRÍCULA
Projeto Elétrico - Pavimento tipo	Bruna Caroline Campos	11221ECV020
AUTOR	ORIENTADORA	DATA
Ameno Viela Carvalho Neto - CREA 70294/D MG	Maria Cristina Vidigal de Lima	29/11/2017

## **ANEXO C – PLANTA DE FORMAS: PAVIMENTO TIPO**





PAVIMENTO TIPO  
ESCALA 1:100



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO	ALUNO	MATRÍCULA
Planta de Formas - Pavimento tipo	Bruna Caroline Campos	11221ECV020
AUTOR	ORIENTADORA	DATA
Bruna Caroline Campos	Maria Cristina Vidigal de Lima	29/11/2017