

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINA DE CÁLCULO PARA
LAJE MACIÇA ATRAVÉS DO DYNAMO REVIT**

MARCO TÚLIO DE SOUZA

TRINDADE, GO
2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINA DE CÁLCULO PARA
LAJE MACIÇA ATRAVÉS DO DYNAMO REVIT**

MARCO TÚLIO DE SOUZA

Trabalho de curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Trindade,
como requisito parcial para obtenção do Grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Filipe de Luna
Cunha

Trindade, GO
2023

PÁGINA DESTINADA A INSERÇÃO DA FICHA CATALOGRÁFICA

MARCO TÚLIO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINA DE CÁLCULO PARA
LAJE MACIÇA ATRAVÉS DO DYNAMO REVIT**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em _____, pela Banca
Examinadora constituída pelos membros:

Prof. TÍTULO. NOME DO MEMBRO DA
BANCA

Instituto Federal Goiano

Prof. TÍTULO. NOME DO MEMBRO DA
BANCA

Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. XXXXXX

Instituto Federal Goiano (IF Goiano/Trindade)

Trindade, GO
Novembro, 2023

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos ao Instituto Federal Goiano - Campus Trindade, por proporcionar o ambiente propício ao desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelo suporte, recursos e pela oportunidade de explorar e aplicar conhecimentos no âmbito da engenharia civil. Meus agradecimentos se estendem aos professores e colaboradores que contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço pela orientação, incentivo e pelo compartilhamento de conhecimentos que enriqueceram esta jornada.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, foram parte dessa trajetória, colaborando para o enriquecimento do conhecimento e o sucesso deste trabalho.

BIOGRAFIA DO ALUNO

Natural da cidade de Trindade de Goiás-GO. Graduando(a) em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano – Campus Trindade. Durante a graduação sempre teve uma afinidade com o projeto estrutural, e com softwares que utilizam a metodologia BIM, em principal o software REVIT. Em 2021 começou um estágio na empresa ECC ESTRUTURAS, e em 2023 um estágio na PREFEITURA DE TRINDADE, onde se aprofundou na execução de projetos estruturais de metálica e concreto armado. Onde, tentou aperfeiçoar os conhecimentos em projetos, utilizando a metodologia BIM. Busca através deste, a conclusão do bacharelado em engenharia civil pela apresentação do trabalho.

SUMÁRIO

| | | |
|---|----------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 11 |
| | 2.1 Geral | 11 |
| | 2.2 Específicos..... | 11 |
| 3 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 12 |
| 4 | CAPÍTULO ÚNICO | 13 |

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento e implementação de rotinas específicas no Dynamo Revit para o dimensionamento automático de lajes maciças, utilizando como referência os métodos descritos por Carvalho e Figueiredo Filho em "Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado". A abordagem visa integrar essas rotinas ao ambiente de modelagem 3D do Revit, proporcionando uma abordagem automatizada, transparente e personalizada para o processo de dimensionamento estrutural.

No contexto do Revit, uma família parametrizada foi criada para representar a laje maciça, permitindo ajustes dinâmicos em suas características. Utilizando fórmulas complexas e métodos consolidados, as rotinas desenvolvidas no Dynamo Revit realizam o dimensionamento da laje e geram automaticamente a armadura necessária. O código foi validado com sucesso, demonstrando a eficácia da abordagem proposta.

Como contribuição significativa, este trabalho utiliza o Dynamo como uma ferramenta integrada no ambiente Revit, explorando a modelagem 3D para o dimensionamento estrutural. Além disso, abre caminho para futuras melhorias, ampliando o escopo e a aplicabilidade da abordagem proposta na área de engenharia civil.

Palavras-chave: Dynamo, Revit e Laje Maciça.

ABSTRACT

This work proposes the development and implementation of specific routines in Dynamo Revit for the automatic design of solid slabs, using the methods described by Carvalho and Figueiredo Filho in "Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado" as a reference. The approach aims to integrate these routines into the 3D modeling environment of Revit, providing an automated, transparent, and personalized approach to structural design.

Within the Revit context, a parametric family was created to represent the solid slab, allowing dynamic adjustments to its characteristics. Using complex formulas and established methods, the routines developed in Dynamo Revit perform the slab design and automatically generate the required reinforcement. The code was successfully validated, demonstrating the effectiveness of the proposed approach.

As a significant contribution, this work utilizes Dynamo as an integrated tool in the Revit environment, exploring 3D modeling for structural design. Furthermore, it paves the way for future improvements, expanding the scope and applicability of the proposed approach in the field of civil engineering.

Keywords: Revit, Dynamo, Solid Slap.

1 INTRODUÇÃO

A evolução das ferramentas de modelagem 3D e automação tem desempenhado um papel significativo no avanço da engenharia civil, proporcionando maior eficiência e precisão no desenvolvimento de projetos. Nesse contexto, a integração do Dynamo Revit surge como uma abordagem inovadora para otimizar e automatizar a criação de projetos.

A evolução das ferramentas de modelagens 3D e automação tem desempenhado um papel significativo no avanço da engenharia civil, proporcionando maior eficiência e precisão no desenvolvimento de projetos estruturais. O Revit, amplamente utilizado na indústria da construção para modelagem e documentação de projetos, oferece uma plataforma robusta para criar modelos 3D detalhados e colaborativos. No entanto, frequentemente, a aplicação de fórmulas complexas para o dimensionamento estrutural requer o uso de softwares adicionais ou planilhas externas.

O Dynamo, integrado nativamente ao Autodesk Revit a partir das versões de 2020 em diante, é uma ferramenta de programação visual desenvolvida pela Autodesk. Projetada para harmonizar-se perfeitamente com o ambiente do Revit e outros softwares da Autodesk, sua proposta é proporcionar uma interface gráfica amigável que capacita os usuários a criar scripts personalizados e automatizar tarefas diretamente no ambiente de modelagem 3D. Essa integração nativa fortalece ainda mais a colaboração entre automação e modelagem, proporcionando uma abordagem fluida para a criação de rotinas customizadas e eficientes no contexto do Revit.

O objetivo central deste trabalho é explorar a capacidade do Dynamo como uma extensão integrada no ambiente Revit, permitindo a inserção de fórmulas complexas diretamente na modelagem 3D. Ao desenvolver rotinas específicas para Lajes maciças, almeja-se transformar o processo de dimensionamento estrutural em uma extensão natural da criação do modelo no Revit.

A abordagem proposta visa não apenas automatizar o cálculo estrutural, mas também capitalizar a eficiência e a colaboração proporcionadas pelo ambiente Revit. Ao criar uma família de modelo genérico parametrizado, pretendo disponibilizar aos projetistas uma ferramenta versátil para ajustar e dimensionar elementos estruturais de forma ágil e integrada.

O desenvolvimento das fórmulas fundamentais, respaldado pelos métodos consolidados de cálculo estrutural propostos por CARVALHO, R. Chust; FIGUEIREDO FILHO (2014), juntamente com a exploração de estudos recentes, como os de SENA (2019) e MACHADO (2022), sobre o emprego eficaz da linguagem de programação em projetos, constitui um aprimoramento crucial. Essa abordagem infunde uma camada adicional de confiabilidade no

processo, garantindo que os resultados obtidos sejam não apenas precisos, mas também consistentes ao longo do desenvolvimento do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver e implementar rotinas parametrizadas no ambiente Autodesk Revit, utilizando a ferramenta Dynamo, com o propósito de automatizar o dimensionamento estrutural de lajes maciças, integrando fórmulas complexas diretamente na modelagem 3D.

2.2 Específicos

- Explorar a capacidade do Dynamo como uma extensão integrada ao Revit para inserir fórmulas de cálculo estrutural diretamente na modelagem 3D.
- Implementar rotinas específicas utilizando o método de 'Utilização de Quadros' proposto por Carvalho e Figueiredo Filho (2014) para o dimensionamento de lajes maciças. Isso incluirá o cálculo dos momentos positivos e negativos nas direções x e y, determinação das flechas por deformação elástica, não considerando os efeitos de fissuração e fluência na estrutura, reações da laje nas vigas e determinação da área de aço.
- Criar um modelo genérico parametrizado para lajes maciças, permitindo ajustes dinâmicos e dimensionamento no ambiente Revit.
- Realizar o lançamento de uma estrutura composta por lajes maciças no Revit, testando e validando as rotinas desenvolvidas em situações práticas.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK. Autodesk Revit 2023 Help. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/?guid=RevitDynamo_Dynamo_for_Revit_html. Acesso em: 15 janeiro 2023.

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

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

CARVALHO, R. Chust; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos, 2014, 320-373 p.

MACHADO, Inês do Carmo Gonçalves. **Automatização de processos BIM através da utilização Dynamo aplicado ao projeto de estruturas**. 2022.

SENA, P. C. P - **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#** dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

4 CAPÍTULO ÚNICO

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

DESENVOLVIMENTO DE ROTINA DE CÁLCULO PARA LAJE MACIÇA ATRAVÉS DO DYNAMO REVIT

DEVELOPMENT OF CALCULATION ROUTINE FOR SOLID SLAB USING DYNAMO REVIT

Marco Túlio de Souza ¹

Espaço restrito
aos editores de
layout da REEC.

PALAVRAS-CHAVE:

Revit;
Dynamo;
Laje Maciça;

KEYWORDS:

Revit;
Dynamo;
Solid Slap.

RESUMO: Este trabalho propõe o desenvolvimento e implementação de rotinas específicas no Dynamo Revit para o dimensionamento automático de lajes maciças, utilizando como referência os métodos descritos por Carvalho e Figueiredo Filho em "Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado". A abordagem visa integrar essas rotinas ao ambiente de modelagem 3D do Revit, proporcionando uma abordagem automatizada, transparente e personalizada para o processo de dimensionamento estrutural.

No contexto do Revit, uma família parametrizada foi criada para representar a laje maciça, permitindo ajustes dinâmicos em suas características. Utilizando fórmulas complexas e métodos consolidados, as rotinas desenvolvidas no Dynamo Revit realizam o dimensionamento da laje e geram automaticamente a armadura necessária. O código foi validado com sucesso, demonstrando a eficácia da abordagem proposta.

Como contribuição significativa, este trabalho utiliza o Dynamo como uma ferramenta integrada no ambiente Revit, explorando a modelagem 3D para o dimensionamento estrutural. Além disso, abre caminho para futuras melhorias, ampliando o escopo e a aplicabilidade da abordagem proposta na área de engenharia civil.

ABSTRACT: This work proposes the development and implementation of specific routines in Dynamo Revit for the automatic design of solid slabs, using the methods described by Carvalho and Figueiredo Filho in "Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado" as a reference. The approach aims to integrate these routines into the 3D modeling environment of Revit, providing an automated, transparent, and personalized approach to structural design.

Within the Revit context, a parametric family was created to represent the solid slab, allowing dynamic adjustments to its characteristics. Using complex formulas and established methods, the routines developed in Dynamo Revit perform the slab design and automatically generate the required reinforcement. The code was successfully validated, demonstrating the effectiveness of the proposed approach.

As a significant contribution, this work utilizes Dynamo as an integrated tool in the Revit environment, exploring 3D modeling for structural design. Furthermore, it paves the way for future improvements, expanding the scope and applicability of the proposed approach in the field of civil engineering.

* Contato com os autores:

¹sr.souzamarcotulio@gmail.com (Marco Túlio de Souza)

Engenharia Civil (em conclusão), Estudante de engenharia Civil, Instituto Federal Goiano - Campus Trindade, sr.souzamarcotulio@gmail.com

ISSN: 2179-0612

© 2023 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

A evolução das ferramentas de modelagens 3D e automação tem desempenhado um papel significativo no avanço da engenharia civil, proporcionando maior eficiência e precisão no desenvolvimento de projetos estruturais. O Revit, amplamente utilizado na indústria da construção para modelagem e documentação de projetos, oferece uma plataforma robusta para criar modelos 3D detalhados e colaborativos. No entanto, frequentemente, a aplicação de fórmulas complexas para o dimensionamento estrutural requer o uso de softwares adicionais ou planilhas externas.

O Dynamo, integrado nativamente ao Autodesk Revit a partir das versões de 2020 em diante, é uma ferramenta de programação visual desenvolvida pela Autodesk. Projetada para a harmoniza-se perfeita com o ambiente do Revit e outros softwares da Autodesk, sua proposta é proporcionar uma interface gráfica amigável que capacita os usuários a criar scripts personalizados e automatizar tarefas diretamente no ambiente de modelagem 3D. Essa integração nativa fortalece ainda mais a colaboração entre automação e modelagem, proporcionando uma abordagem fluida para a criação de rotinas customizadas e eficientes no contexto do Revit.

O objetivo central deste trabalho é explorar a capacidade do Dynamo como uma extensão integrada no ambiente Revit, permitindo a inserção de fórmulas complexas diretamente na modelagem 3D. Ao desenvolver rotinas específicas para Lajes maciças, almeja-se transformar o processo de dimensionamento estrutural em uma extensão natural da criação do modelo no Revit.

A abordagem proposta visa não apenas automatizar o cálculo estrutural, mas também capitalizar a eficiência e a colaboração proporcionadas pelo ambiente Revit. Ao criar uma família de modelo genérico parametrizado, pretendo disponibilizar aos projetistas uma ferramenta versátil para ajustar e dimensionar elementos estruturais de forma ágil e integrada.

O desenvolvimento das fórmulas fundamentais, respaldado pelos métodos consolidados de cálculo estrutural propostos por CARVALHO, R. Chust; FIGUEIREDO FILHO (2014), juntamente com a exploração de estudos recentes, como os de SENA (2019) e MACHADO (2022), sobre o emprego eficaz da linguagem de programação em projetos, constitui um aprimoramento crucial. Essa abordagem infunde uma camada adicional de confiabilidade no processo, garantindo que os resultados obtidos sejam não apenas precisos, mas também consistentes ao longo do desenvolvimento do projeto.

2. OBJETIVO

Desenvolver e implementar, de maneira eficaz, rotinas específicas no Dynamo Revit para o dimensionamento automático de lajes maciças. A abordagem proposta baseia-se nos métodos consagrados apresentados no livro “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado”, de Roberto Chust Carvalho e Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. O objetivo primordial é integrar essas rotinas de dimensionamento ao ambiente de modelagem 3D do Revit, proporcionando uma solução automatizada, transparente e personalizada para o processo de análise estrutural. Ao final deste trabalho, almeja-se disponibilizar aos profissionais da engenharia civil uma ferramenta robusta e eficiente que harmonize a precisão dos métodos tradicionais com a praticidade da automação no contexto do Revit.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

O contexto contemporâneo da engenharia civil é marcado pela constante busca por eficiência, precisão e inovação no processo de projeto estrutural. A crescente adoção de ferramentas de modelagem 3D, como o Autodesk Revit, tem revolucionado a maneira como concebemos e executamos projetos na área. No entanto, mesmo com os avanços, a aplicação de fórmulas complexas para o dimensionamento estrutural

muitas vezes demanda a utilização de softwares externos ou planilhas, introduzindo desafios associados à integração e à eficiência do fluxo de trabalho.

Diante desse cenário desafiador, apresenta-se a proposta de incorporar o Dynamo como uma abordagem para cálculos e automação. Mais do que simplesmente substituir planilhas de cálculos, o Dynamo representa uma inovação. Sua abordagem intuitiva e visual não apenas automatiza cálculos, mas redefine a maneira como concebemos o processo de projeto. Ao integrar diretamente no ambiente de modelagem 3D do Revit rotinas específicas, o Dynamo não só simplifica a execução de tarefas complexas, mas também proporciona uma experiência única, unindo eficiência e personalização em um só contexto. Essa versatilidade não apenas facilita a compatibilização entre disciplinas, mas também eleva o nível de colaboração e eficiência em todo o ciclo de vida do projeto.

4. METODOLOGIA

Inicialmente, foi criada uma família editável no Autodesk Revit, contendo todos os parâmetros essenciais para a realização dos cálculos de dimensionamento de lajes maciças. Esses parâmetros foram cuidadosamente selecionados, incluindo características fundamentais como resistência do concreto (f_{ck}), cobrimento, diâmetros das armaduras, status das bordas (engastadas ou apoiadas), além de dimensões como altura e largura, que podem variar de acordo com a geometria da laje.

Em seguida, utilizando o Dynamo, desenvolveu-se um código que extrai esses parâmetros da família e utiliza as informações sobre a disposição da família no ambiente de modelagem 2D do Revit para realizar os cálculos de dimensionamento.

No contexto do dimensionamento de lajes maciças, apresenta-se a seguir um fluxograma que delinea as etapas essenciais, desde a seleção das lajes até a determinação do espaçamento adequado das barras de armadura. Cada fase destaca a importância de coletar dados precisos, calcular esforços críticos e garantir a conformidade com os critérios de segurança.

1. Seleção das lajes maciças:

Escolha das lajes a serem dimensionadas no projeto.

2. Coleta dos dados de entrada

Coleta das informações essenciais, como cargas, dimensões e propriedades do concreto.

4. Seleção das Lajes Maciças:

Escolha das lajes a serem dimensionadas no projeto.

5. Determinação da carga atuante:

Calcular a carga total atuante nas lajes considerando carga permanente e carga acidental.

6. Reações da laje nas vigas:

Determinar as reações nas vigas de suporte das lajes.

7. Determinação da linha neutra:

Identificar a posição da linha neutra para o dimensionamento.

8. Área de aço:

Calcular a área de aço necessária para resistir aos momentos e esforços.

9. Espaçamento das barras:

Determinar o espaçamento adequado para as barras de armadura.

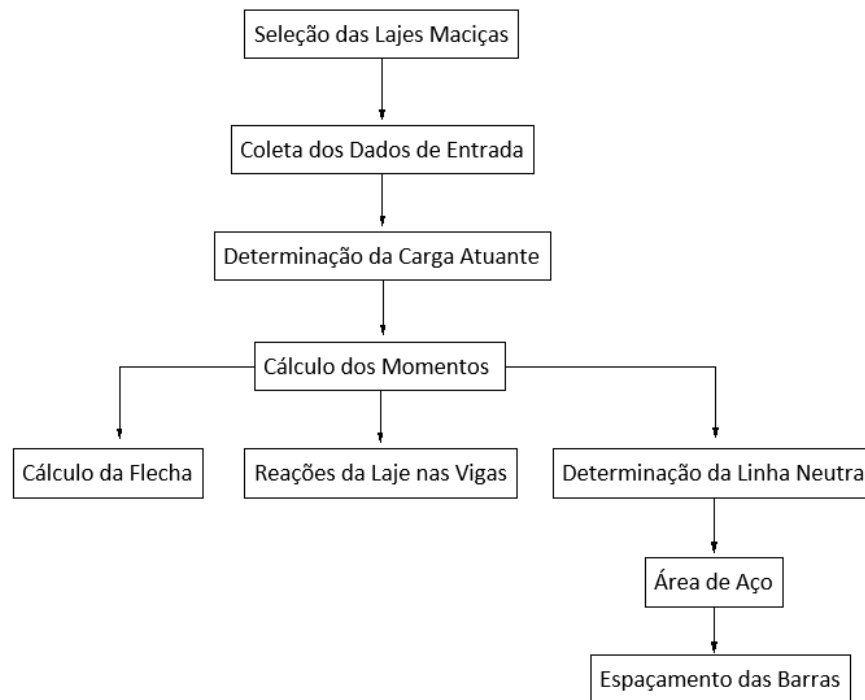


FIGURA 0: Fluxograma.

4.1 CRIAÇÃO DO MODELO PARAMETRIZADO

No contexto do Autodesk Revit, uma família é um componente versátil e adaptável que descreve objetos ou elementos presentes em um projeto. No escopo deste trabalho, a família representa uma laje maciça e, ao ser concebida, é parametrizada para permitir ajustes dinâmicos em suas características. A parametrização, nesse contexto, significa dotar a família de variáveis (parâmetros) que podem ser ajustadas para modificar suas propriedades geométricas e comportamentais.

O primeiro passo foi acessar a área de criação de famílias no Revit, onde se deu início à definição da geometria da laje. Os parâmetros fundamentais da geometria foram estabelecidos, destacando-se os comprimentos laterais e a altura da laje. Esses parâmetros, ao serem modificados, proporcionam a flexibilidade necessária para adaptar a geometria da laje conforme as exigências específicas do projeto.

Posteriormente, foram adicionados parâmetros que receberiam os dados de entrada essenciais para o dimensionamento da laje. Esses incluíram informações como carga acidental, carga permanente, resistência característica do concreto (f_{ck}), cobrimento, especificação das bordas que seriam engastadas e os diâmetros das armaduras, tanto na direção positiva quanto na direção negativa em X e Y.

A última etapa envolveu a criação de parâmetros destinados a armazenar os resultados do dimensionamento estrutural. Estes parâmetros incluíram dados como carga sobre a laje, flecha máxima, flecha da laje, domínio de deformação, área de aço da armadura positiva e negativa, comprimentos retos, comprimento de ancoragem, espaçamento e cargas em cada borda.

Para facilitar a visualização, foi implementado um parâmetro compartilhado de texto sobre a laje. Esse parâmetro tem a função de exibir os valores de entrada inseridos e os resultados dos cálculos realizados, promovendo uma análise mais clara e acessível dos dados associados à laje maciça.

Adicionalmente, é importante mencionar que, na etapa de criação da família, foram incorporados cálculos simples para identificar o menor lado (lx) e o maior lado (ly) da laje, bem como determinar o caso específico da laje, levando em consideração suas condições de engastamento.

4.2 ELABORAÇÃO DA ROTINA DE DIMENSIONAMENTO NO AMBIENTE DYNAMO

A implementação das rotinas de cálculo no Dynamo Revit envolveu a criação de um código que abrangeu diversas etapas, integrando-se harmoniosamente ao ambiente de modelagem 3D. O código foi estruturado de maneira lógica e eficiente, visando a automação do dimensionamento de lajes maciças. Abaixo, descrevo as principais etapas do código:

4.2.1 Identificação e Seleção das Lajes

Nesta etapa, foi implementada uma lógica para identificar e selecionar as lajes maciças presentes no projeto utilizando o Dynamo Revit. O processo foi realizado por meio de nós específicos do Dynamo, visando a automatização e agilidade na seleção dos elementos estruturais desejados.

A utilização do nó "Categories" permitiu a seleção da categoria "Quadro Estrutural", abrangendo uma ampla gama de elementos estruturais no modelo. Em seguida, conectou-se esse nó ao "All Elements of Category", possibilitando a obtenção de todos os elementos pertencentes a essa categoria no projeto.

A fase crucial desse procedimento envolveu a aplicação do nó "List.FilterByBoolMask". Esse nó foi estrategicamente empregado para realizar uma filtragem específica por nome, concentrando-se na identificação das lajes maciças. A máscara booleana gerada pelo filtro foi determinada de modo a selecionar exclusivamente os elementos com o nome correspondente a "Laje Maciça".

Dessa maneira, esta etapa do código no Dynamo proporcionou um processo de identificação e seleção das lajes maciças no ambiente de modelagem do Revit, estabelecendo a base para as próximas fases de dimensionamento.

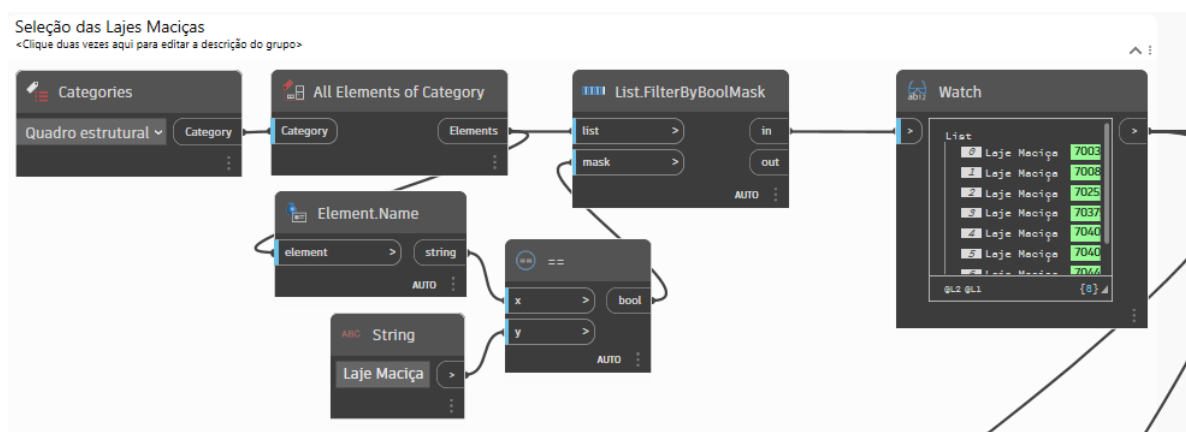


FIGURA 1: Código para seleção das Lajes.

4.2.2 Obtenção dos dados para o dimensionamento

Nessa fase, foi utilizado o código no bloco de código "Revit.Element.GetParameterValueByName", onde foi empregado o código para acessar os valores específicos dos parâmetros desejados em cada laje. Esses parâmetros incluíram informações cruciais para o dimensionamento, como carga acidental, carga permanente, resistência característica do concreto (fck), cobrimento, configurações estruturais, entre outros.

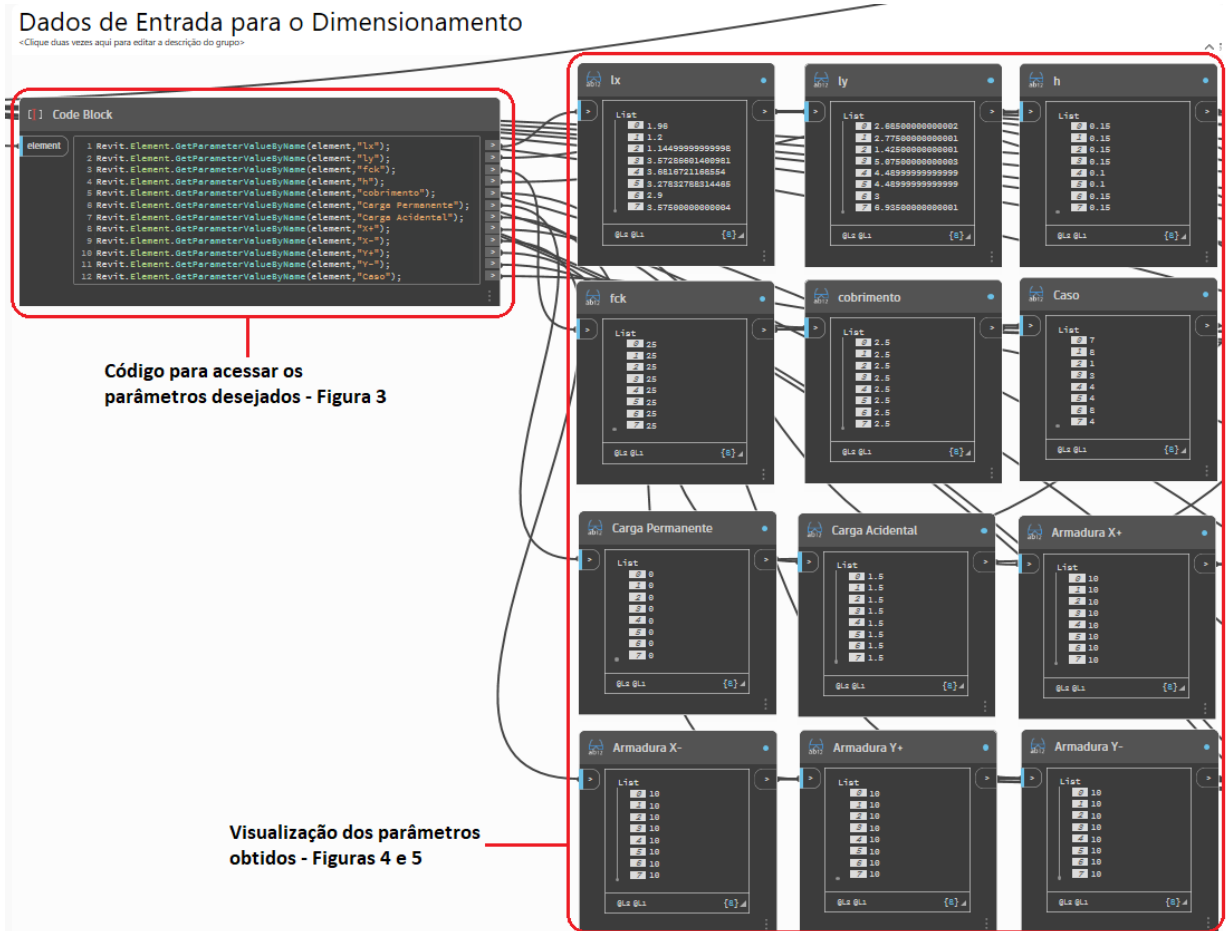


FIGURA 2: Visão geral da obtenção dos dados de entrada.

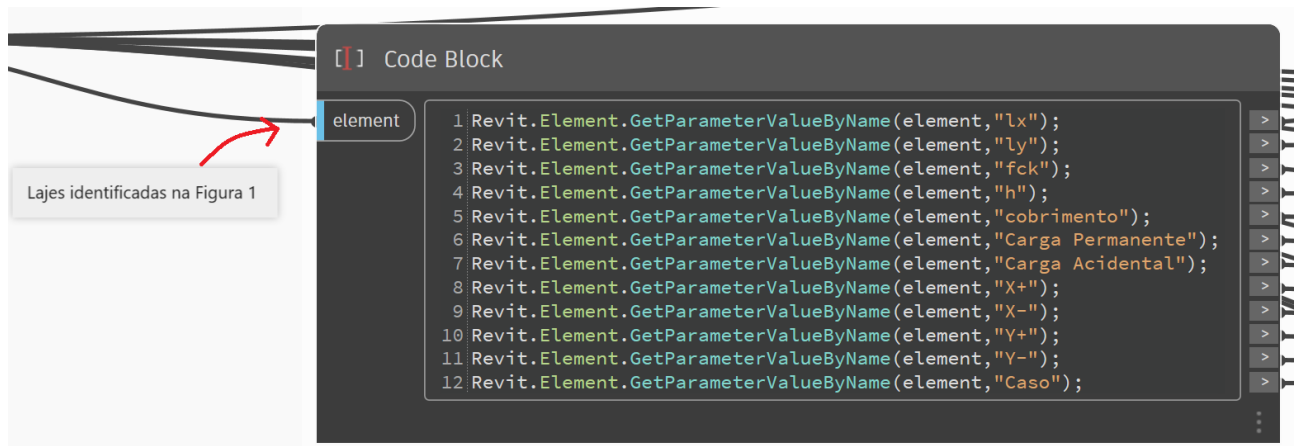


FIGURA 3: Código para acessar os parâmetros desejados .



FIGURA 4: Visualização dos parâmetros das lajes

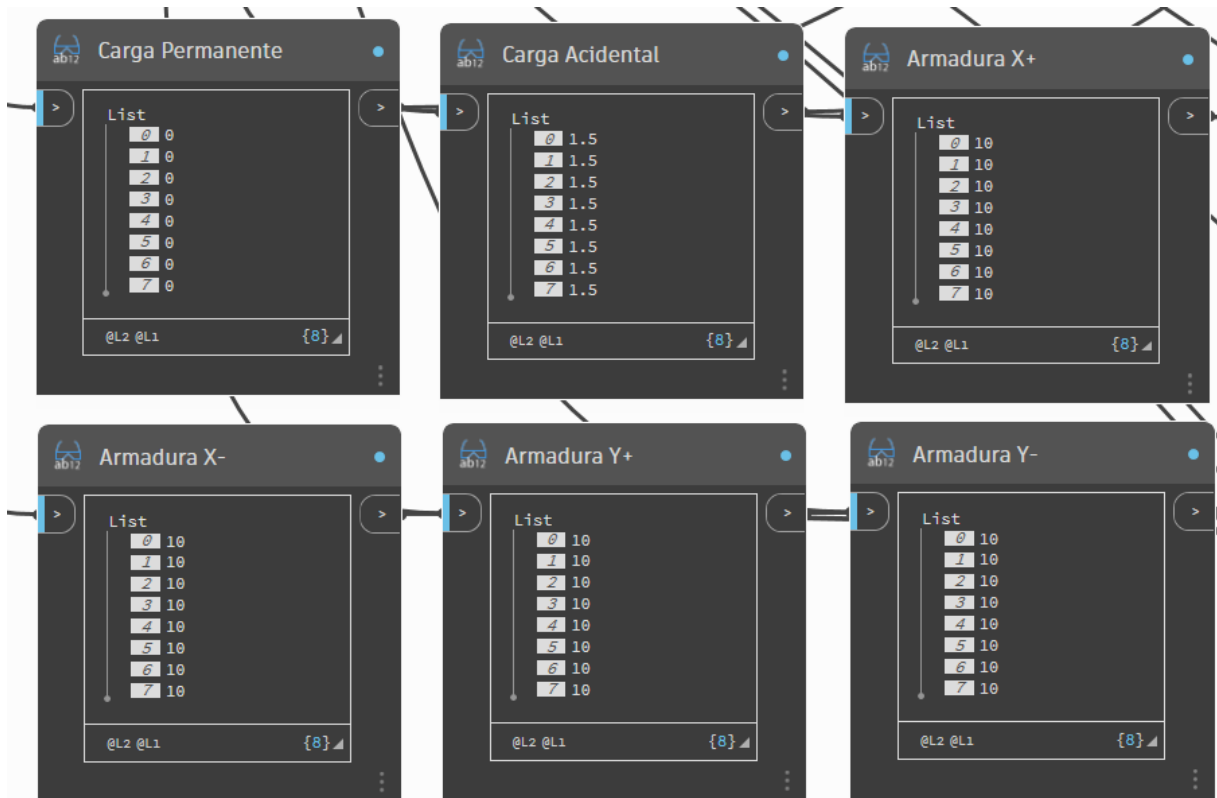


FIGURA 5: Visualização dos parâmetros das lajes

4.2.3 Cálculo da carga atuante sobre as lajes

A primeira parte do código concentra-se no cálculo da carga permanente (q). Utilizando o valor de entrada especificado para a carga permanente (CP) e o peso próprio da laje (PP), que é calculado com base na altura (h), a carga permanente total é obtida pela soma destes dois componentes.

Na segunda parte do código, a carga acidental (g), fornecida como valor de entrada, é diretamente utilizada.

A terceira parte integra ambas as cargas para calcular a carga total (p) equação 1. A carga total (p) é a soma da carga permanente (q) e da carga acidental (g), representando assim a carga total que atua sobre a laje maciça.

A carga total, resultante da combinação, pode ser visualizada no nó "Watch", ilustrado na figura 6.

$$p = q + g$$

Eq. [1]

Onde:

p = carga total na laje (kN/m²)

q = carga permanente na laje (kN/m²)

g = acidental na laje (kN/m²)

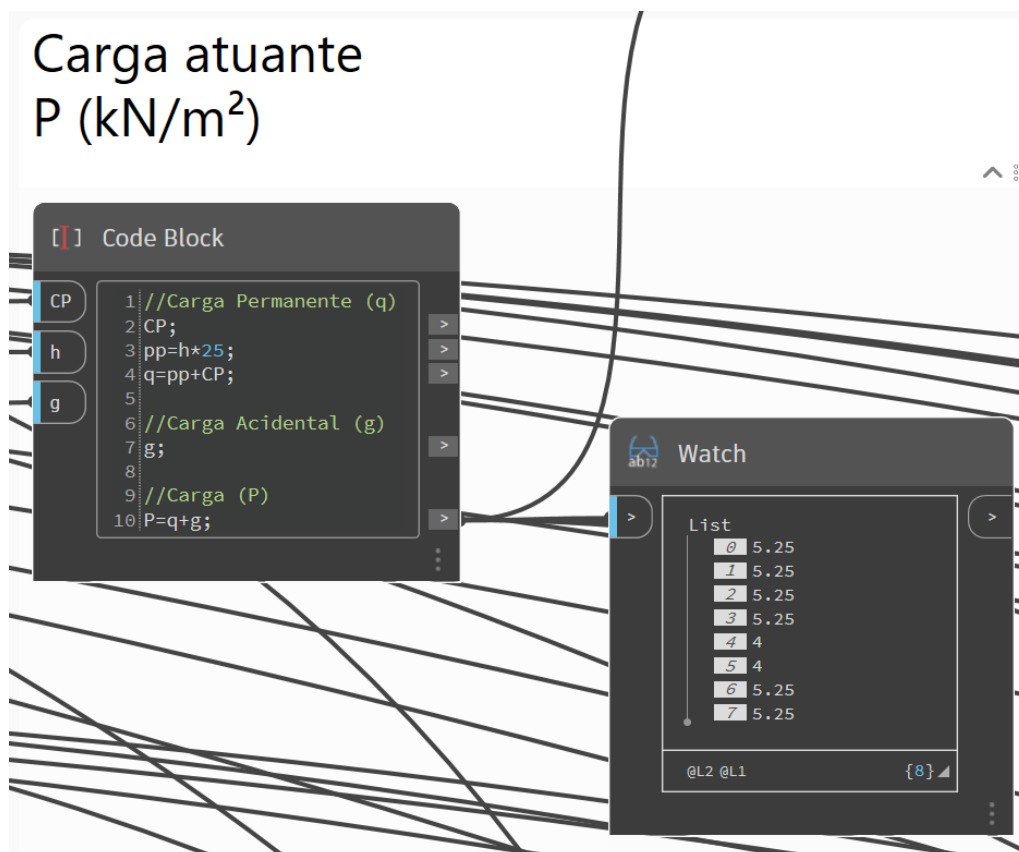


FIGURA 6: Cálculo da carga atuante nas lajes.

FONTE: Autoria Própria

4.2.4 Determinação dos momentos nas lajes

Nesta etapa, a determinação dos momentos nas lajes foi conduzida seguindo o método de "Utilização de Quadros" apresentado no livro do (Carvalho e Figueiredo, 2014). Segundo os autores, os momentos positivos e negativos nas direções x e y são calculados mediante as equações 2 a 5, com referência ao Quadro 7.3 do livro. Destaca-se que esses cálculos são específicos para uma faixa unitária de laje, e é ressaltado que os coeficientes indicados nos quadros proporcionam valores extremos dos momentos, não refletindo a variação de esforços ao longo da placa.

$$m_x = \mu_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad \text{Eq. [2]}$$

$$m_y = \mu_y * \frac{p * l_y^2}{100} \quad \text{Eq. [3]}$$

$$X_x = \mu'_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad \text{Eq. [4]}$$

$$X_y = \mu'_y * \frac{p * l_y^2}{100} \quad \text{Eq. [5]}$$

Onde:

m_x e m_y = momento máximo, na direção x e y (kN.m);

μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y = coeficientes fornecidos nos quadros;

l_x = menor lado da laje (m);

p = carga sobre a laje (kN/m²).

λ é dado pela equação 6, e o caso é definido conforme Figura 7.

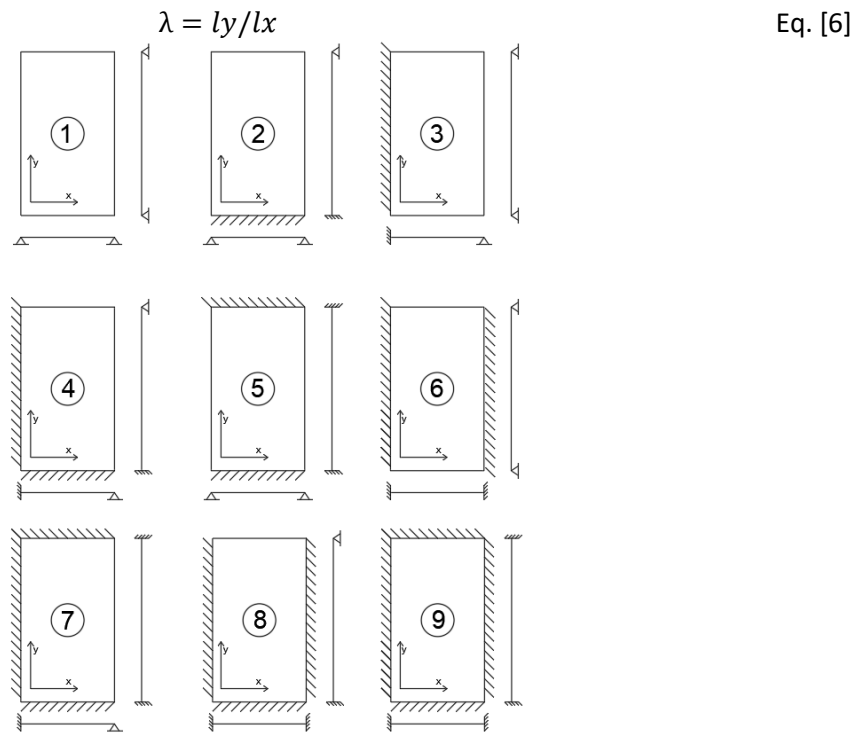


FIGURA 7: Redesenho dos possíveis Casos.

FONTE: Autoria Própria

No processo realizado no Dynamo, adota-se uma abordagem que se alinha com a natureza de trabalho com listas característica dessa plataforma. Inicialmente, a tabela de dados foi transformada em listas, permitindo uma manipulação mais eficiente dos valores. Em seguida, implementou-se um filtro baseado nos parâmetros do caso e do coeficiente λ de cada laje, resultando na obtenção específica dos valores dos coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y relevantes para o cálculo subsequente dos momentos.

Ao obter esses valores cruciais, foram criando fórmulas que vinculam os momentos aos resultados das variáveis identificadas anteriormente. Dessa maneira, calcularam-se todos os momentos positivos e negativos m_x , m_y , X_x e X_y necessários para o dimensionamento estrutural.

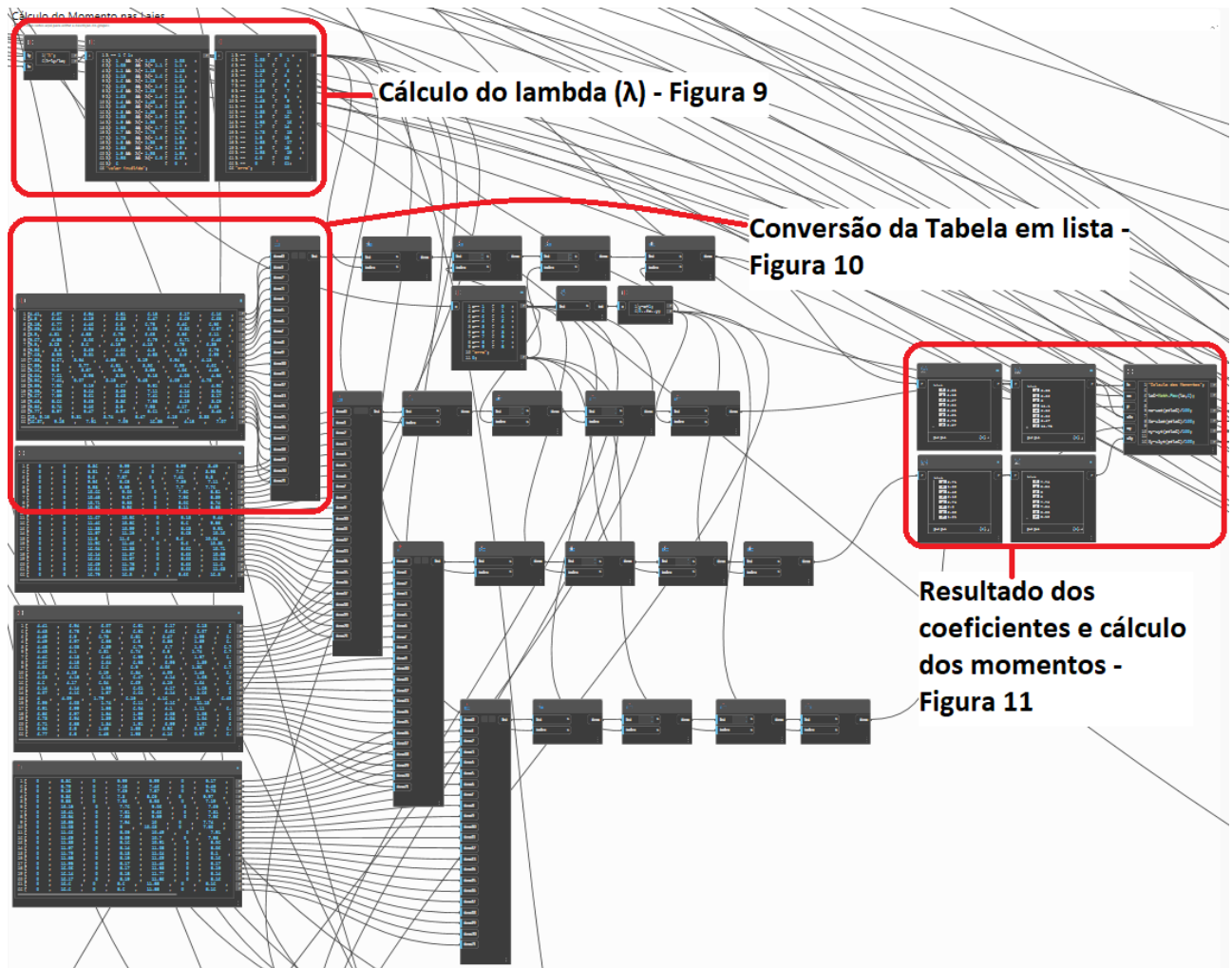


FIGURA 8: Visão geral do cálculo dos Momentos nas lajes.

```

[ ] Code Block
ly
ix
1 "λ";
2 λ=ly/lx;

[ ] Code Block
λ
1 λ == 1 ? 1 :
2 λ> 1 && λ<= 1.05 ? 1.05 :
3 λ> 1.05 && λ<= 1.1 ? 1.1 :
4 λ> 1.1 && λ<= 1.15 ? 1.15 :
5 λ> 1.15 && λ<= 1.2 ? 1.2 :
6 λ> 1.2 && λ<= 1.25 ? 1.25 :
7 λ> 1.25 && λ<= 1.3 ? 1.3 :
8 λ> 1.3 && λ<= 1.35 ? 1.35 :
9 λ> 1.35 && λ<= 1.4 ? 1.4 :
10 λ> 1.4 && λ<= 1.45 ? 1.45 :
11 λ> 1.45 && λ<= 1.5 ? 1.5 :
12 λ> 1.5 && λ<= 1.55 ? 1.55 :
13 λ> 1.55 && λ<= 1.6 ? 1.6 :
14 λ> 1.6 && λ<= 1.65 ? 1.65 :
15 λ> 1.65 && λ<= 1.7 ? 1.7 :
16 λ> 1.7 && λ<= 1.75 ? 1.75 :
17 λ> 1.75 && λ<= 1.8 ? 1.8 :
18 λ> 1.8 && λ<= 1.85 ? 1.85 :
19 λ> 1.85 && λ<= 1.9 ? 1.9 :
20 λ> 1.9 && λ<= 1.95 ? 1.95 :
21 λ> 1.95 && λ<= 2.0 ? 2.0 :
22 λ> 2 ? 0 :
23 "valor inválido";

[ ] Code Block
λ
1 λ == 1 ? 0 :
2 λ == 1.05 ? 1 :
3 λ == 1.1 ? 2 :
4 λ == 1.15 ? 3 :
5 λ == 1.2 ? 4 :
6 λ == 1.25 ? 5 :
7 λ == 1.3 ? 6 :
8 λ == 1.35 ? 7 :
9 λ == 1.4 ? 8 :
10 λ == 1.45 ? 9 :
11 λ == 1.5 ? 10 :
12 λ == 1.55 ? 11 :
13 λ == 1.6 ? 12 :
14 λ == 1.65 ? 13 :
15 λ == 1.7 ? 14 :
16 λ == 1.75 ? 15 :
17 λ == 1.8 ? 16 :
18 λ == 1.85 ? 17 :
19 λ == 1.9 ? 18 :
20 λ == 1.95 ? 19 :
21 λ == 2.0 ? 20 :
22 λ == 0 ? 21 :
23 "erro";
    
```

FIGURA 9: Cálculo do lambda (λ) e criação do valor para o filtro.

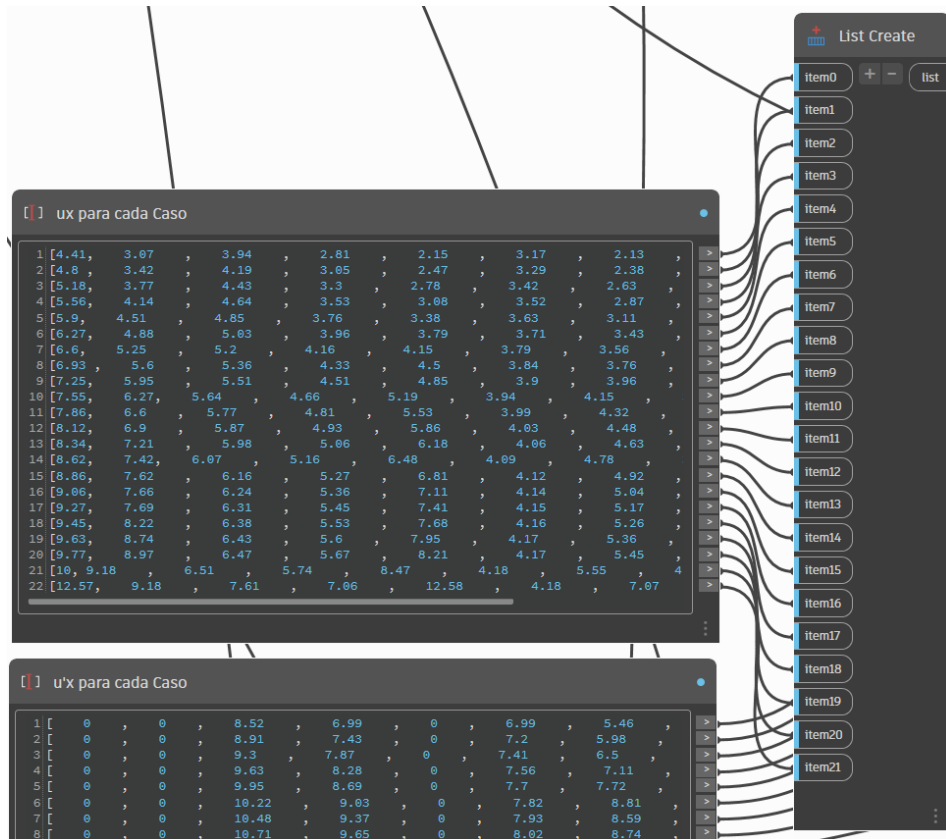


FIGURA 10: Conversão da Tabela em lista.

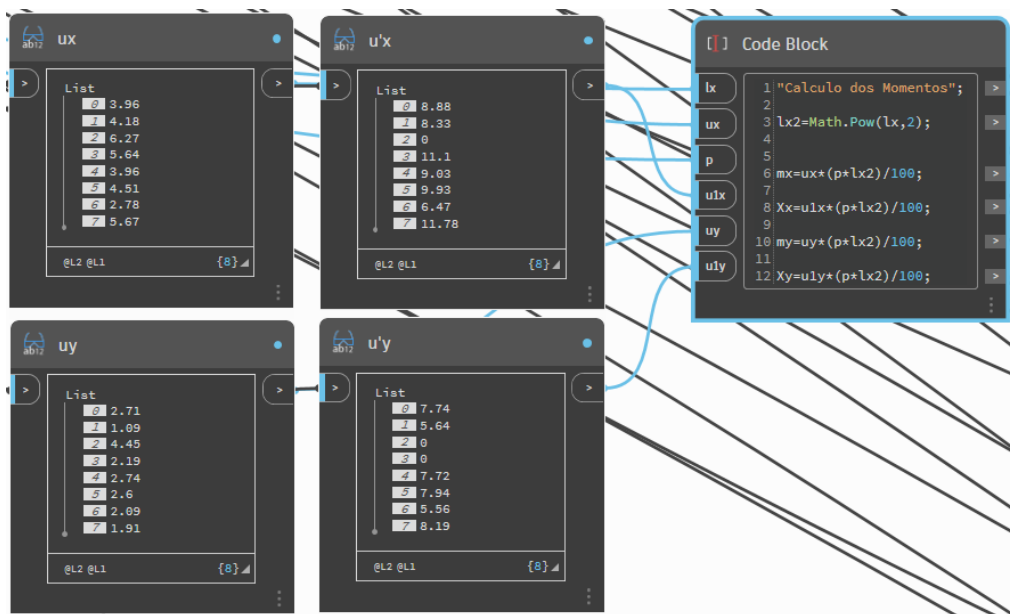


FIGURA 11: Resultado dos coeficientes e cálculo dos momentos.

4.2.5 Cálculo das reações da laje nas vigas

No âmbito do cálculo das reações da laje nas vigas, seguiram-se as orientações estabelecidas por (Carvalho e Figueiredo, 2014). O coeficiente k, fundamental para esses cálculos, pode ser tabelado para diferentes casos de apoio das lajes e valores de λ da equação 6, apresentados nos quadros 7.8, 7.9 e 7.10 do livro mencionado.

Com os valores de k determinados, as reações nas vigas, para um carregamento p e sempre considerando l_x como o menor vão, são calculadas de acordo com as equações 7 a 10. Essas equações

forneem a base para a determinação precisa das reações nas vigas, considerando diferentes configurações de apoio das lajes e valores específicos de λ .

$$q_x = k_x * p * l_x / 10 \tag{Eq. [7]}$$

$$q_y = k_y * p * l_x / 10 \tag{Eq. [8]}$$

$$q'_x = k'_x * p * l_x / 10 \tag{Eq. [9]}$$

$$q'_y = k'_y * p * l_x / 10 \tag{Eq. [10]}$$

Onde:

q_x e q_y = Reações nas direções x e y nas vigas em bordas simplesmente apoiadas (kN.m);

q'_x e q'_y = Reações nas direções x e y nas vigas em bordas engastadas (kN.m);

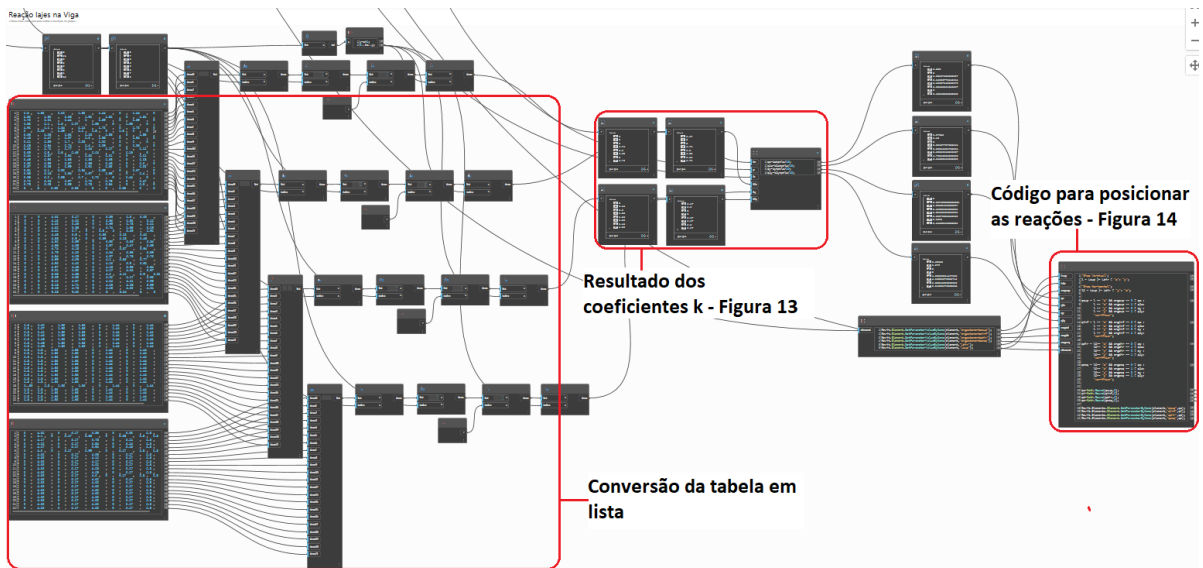


FIGURA 12: Visão geral do código para determinar as reações da laje nas vigas.

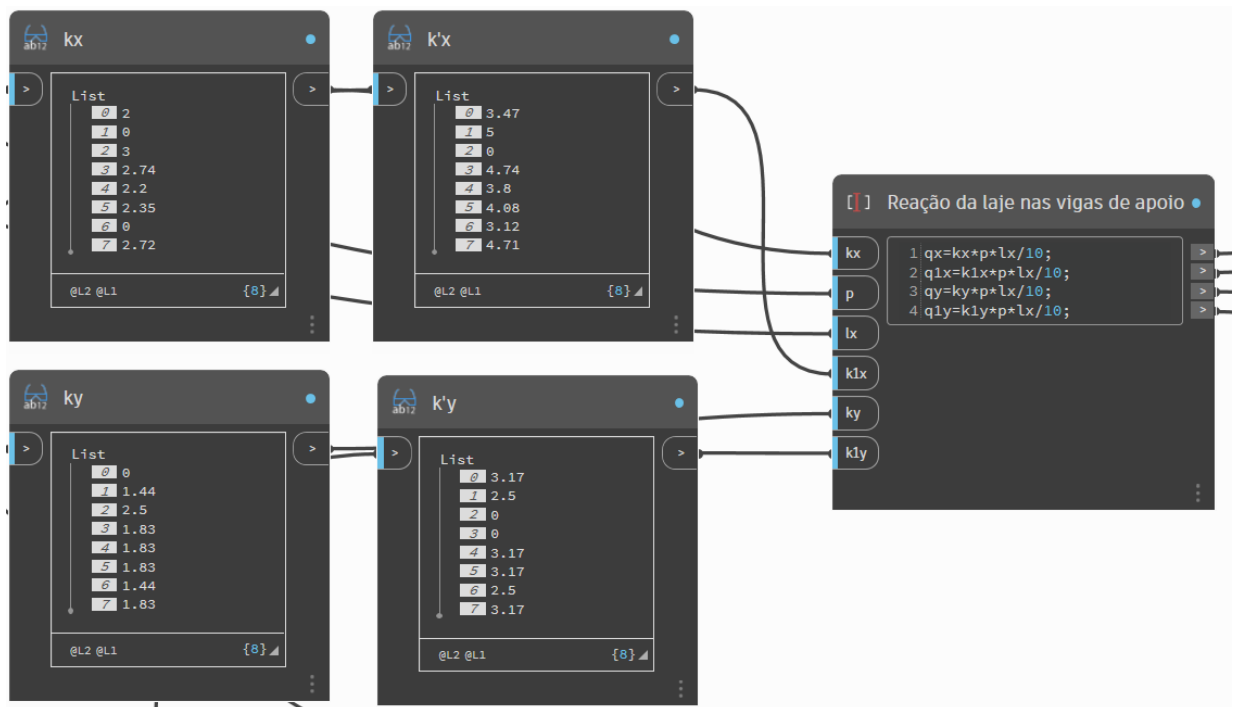


FIGURA 13: Resultados dos coeficientes k, e cálculo das reações.


```

[ ] Code Block
1 "Eixo Vertical";
2 l = Lsup >= Ldir ? "x": "y";
3
4 "Eixo Horizontal";
5 l2 = Lsup >= Ldir ? "y": "x";
6
7
8 qsup = l == "x" && engsup == 0 ? qx :
9       l == "x" && engsup == 1 ? qlx:
10      l == "y" && engsup == 0 ? qy :
11      l == "y" && engsup == 1 ? qly:
12      "verificar";
13
14 qinf = l == "x" && enginf == 0 ? qx :
15       l == "x" && enginf == 1 ? qlx:
16       l == "y" && enginf == 0 ? qy :
17       l == "y" && enginf == 1 ? qly:
18       "verificar";
19
20 qdir = l2== "x" && engdir == 0 ? qx :
21       l2== "x" && engdir == 1 ? qlx:
22       l2== "y" && engdir == 0 ? qy :
23       l2== "y" && engdir == 1 ? qly:
24       "verificar";
25
26 qesq = l2== "x" && engesq == 0 ? qx :
27       l2== "x" && engesq == 1 ? qlx:
28       l2== "y" && engesq == 0 ? qy :
29       l2== "y" && engesq == 1 ? qly:
30       "verificar";
31
32
33 qs=Math.Round(qsup,2);
34 qi=Math.Round(qinf,2);
35 qd=Math.Round(qdir,2);
36 qe=Math.Round(qesq,2);
37
38 Revit.Elements.Element.SetParameterByName(element,"qsup",qs);
39 Revit.Elements.Element.SetParameterByName(element,"qinf",qi);
40 Revit.Elements.Element.SetParameterByName(element,"qdir",qd);
41 Revit.Elements.Element.SetParameterByName(element,"qesq",qe);

```

FIGURA 14: Código para posicionar os valores das reações nas bordas da laje.

4.2.6 Análise e Determinação das flechas

Seguindo as diretrizes estabelecidas de (Carvalho e Figueiredo, 2014), a flecha, definida como o deslocamento transversal máximo de uma barra reta ou placa, é calculada para lajes submetidas a carregamento uniforme e com condições de contorno específicas conforme ilustrado na Figura 7. Este cálculo é realizado mediante a aplicação da equação 11 e a utilização dos coeficientes apresentados no Quadro 7.2 do livro. É relevante ressaltar que a flecha determinada por essa equação representa a deformação elástica, ou seja, não considera os efeitos de fissuração e fluência na estrutura.

$$f = \frac{p \cdot lx^4}{E \cdot h^3} * \frac{\alpha}{100} \quad \text{Eq. [11]}$$

Em que:

- f** = Deslocamento transversal máximo (mm);
- p** = Carregamento uniformemente distribuído sobre a placa;
- α** = Coeficiente tirado do Quadro 3;
- lx** = Menor vão da laje;
- E** = Módulo de deformabilidade do concreto;
- h** = Altura ou espessura da laje.

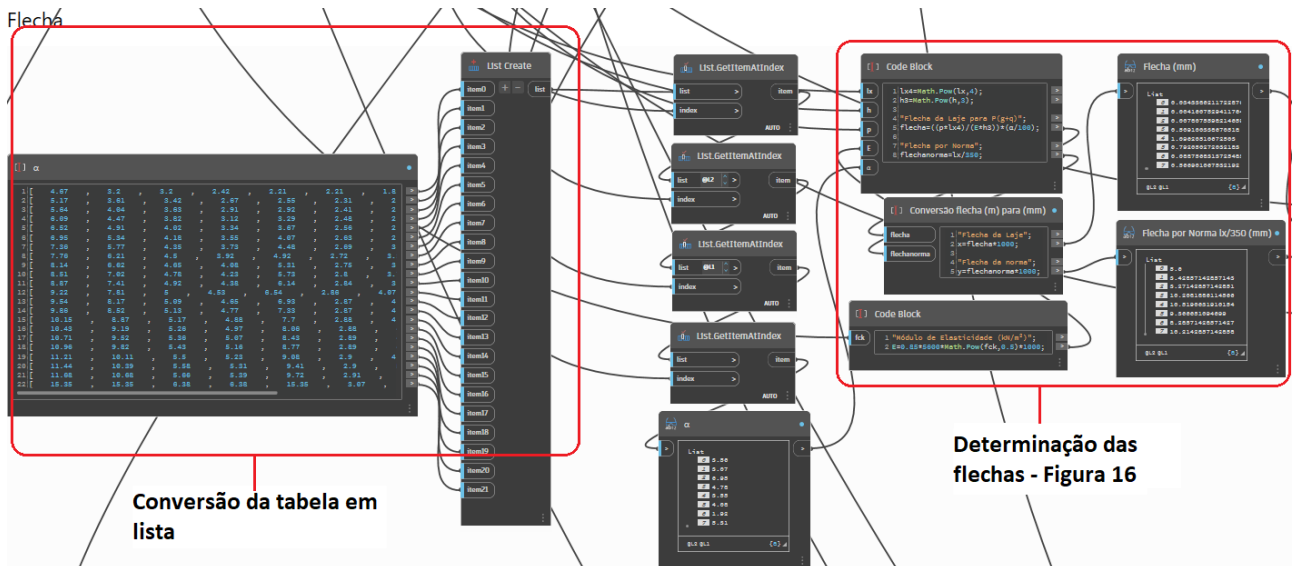


FIGURA 15: Visão geral do código para determinar a flecha.

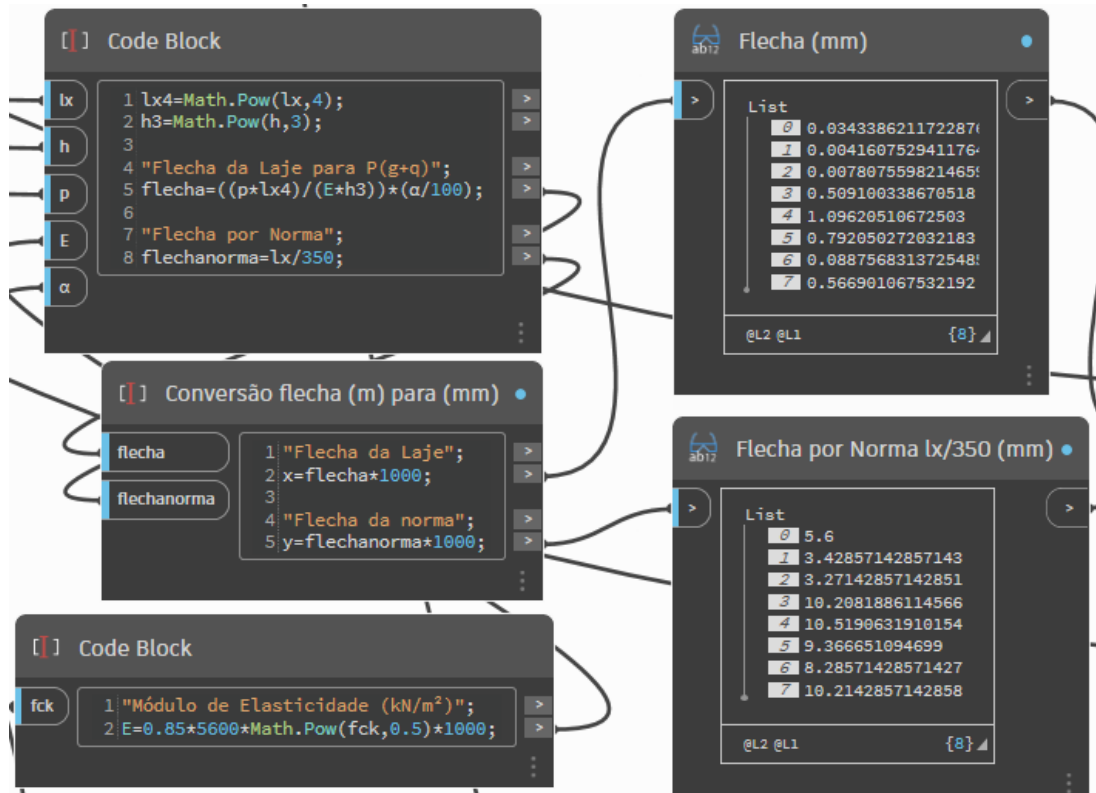


FIGURA 16: Determinação das flechas

4.2.7 Determinação da área de aço necessária

Nesta etapa de determinação da área de aço necessária, optou-se por uma abordagem semelhante ao dimensionamento de vigas, considerando que um metro de laje é equivalente a uma viga de base de um metro e altura igual à da laje. Essa premissa alinha-se com as práticas tradicionais de dimensionamento estrutural e contribui para a consistência nos cálculos.

Dentro desse contexto, foram realizados os cálculos para determinar a área de aço requerida, considerando o maior valor de momento obtido. A escolha do aço utilizado para a laje, neste caso, foi padronizada como C.A 50, proporcionando uma análise eficaz e integrada no contexto do projeto.

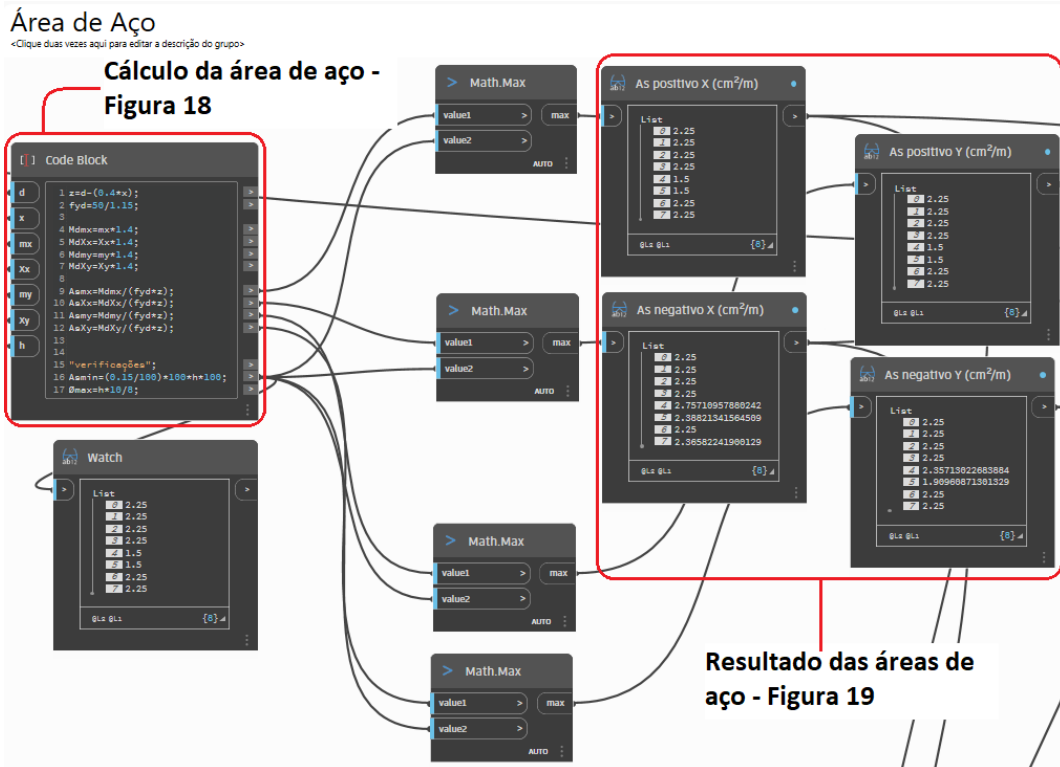


FIGURA 17: Visão geral do código para determinar a área de aço.

```

Code Block
1 z=d-(0.4*x);
2 fyd=50/1.15;
3
4 Mdmx=mx*1.4;
5 MdXx=Xx*1.4;
6 Mdmy=my*1.4;
7 MdXy=Xy*1.4;
8
9 Asmx=Mdmx/(fyd*z);
10 AsXx=MdXx/(fyd*z);
11 Asmy=Mdmy/(fyd*z);
12 AsXy=MdXy/(fyd*z);
13
14
15 "verificações";
16 Asmin=(0.15/100)*100*h*100;
17 Ømax=h*10/8;
    
```

FIGURA 18: Código do cálculo da área de aço.

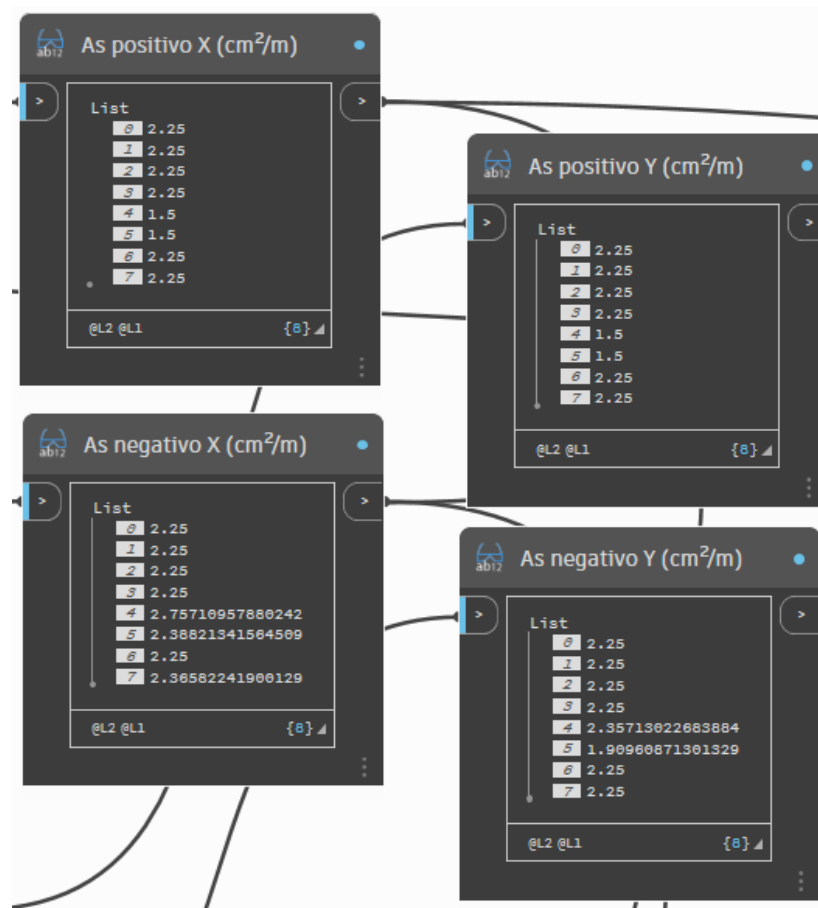


FIGURA 19: Resultado das áreas de aço.

4.2.8 Estabelecimento do espaçamento das barras

Nesta etapa, após calcular a área de aço necessária para as lajes, o próximo passo consiste no estabelecimento do espaçamento das barras. Para realizar essa determinação, é necessário levar em consideração não apenas os cálculos estruturais, mas também as normas específicas que regulamentam o dimensionamento de estruturas de concreto armado.

```

[ ] Code Block
h      1 //Diâmetro máximo
      2 h*1000/8;
Øxp    3 //Espaçamento Máximo
      4 smax= 2*h*100<=2072*h*100:20;
      5
Øyp    6 //Diâmetro máximo das barras (mm)
      7 Ømax=h*1000/8;
      8
Øyn    9 //Espaçamento para armadura mínima
      10 //Ø Vergalhão positivo
      11 Øxp;
      12 Øyp;
      13 //Ø Vergalhão negativo
      14 Øxn;
      15 Øyn;
      16
AsminXp 17 //Eixo X - positivo
      18 AsØx = (3.14*Math.Pow(Øxp,2)/4)/100;
      19 //cm²;
      20 sxp = (AsØx/AsminXp)*100;
      21 sxp >= smax ? smax : sxp;
      22 //cm;
      23
      24 //Eixo Y - Positivo
      25 AsØy = (3.14*Math.Pow(Øyp,2)/4)/100;
      26 //cm²;
      27 syp = (AsØy/AsminYp)*100;
      28 syp >= smax ? smax : syp;
      29 //cm;
      30
      31 //Eixo X - negativo
      32 AsØxn = (3.14*Math.Pow(Øxn,2)/4)/100;
      33 //cm²;
      34 sxn = (AsØxn/AsminXn)*100;
      35 sxn >= smax ? smax : sxn;
      36 //cm;
      37
      38 //Eixo Y - Negativo
      39 AsØyn = (3.14*Math.Pow(Øyn,2)/4)/100;
      40 //cm²;
      41 syn = (AsØyn/AsminYn)*100;
      42 syn >= smax ? smax : syn;
      43 //cm;

```

FIGURA 20: Código do cálculo dos espaçamentos das barras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No contexto prático deste trabalho, foi realizado o lançamento de um projeto de sobrado no Autodesk Revit conforme figura 21, onde foram configuradas e dimensionadas oito lajes maciças utilizando as rotinas desenvolvidas no Dynamo. Esse projeto serviu como caso de estudo para testar e validar a eficácia das rotinas automatizadas.

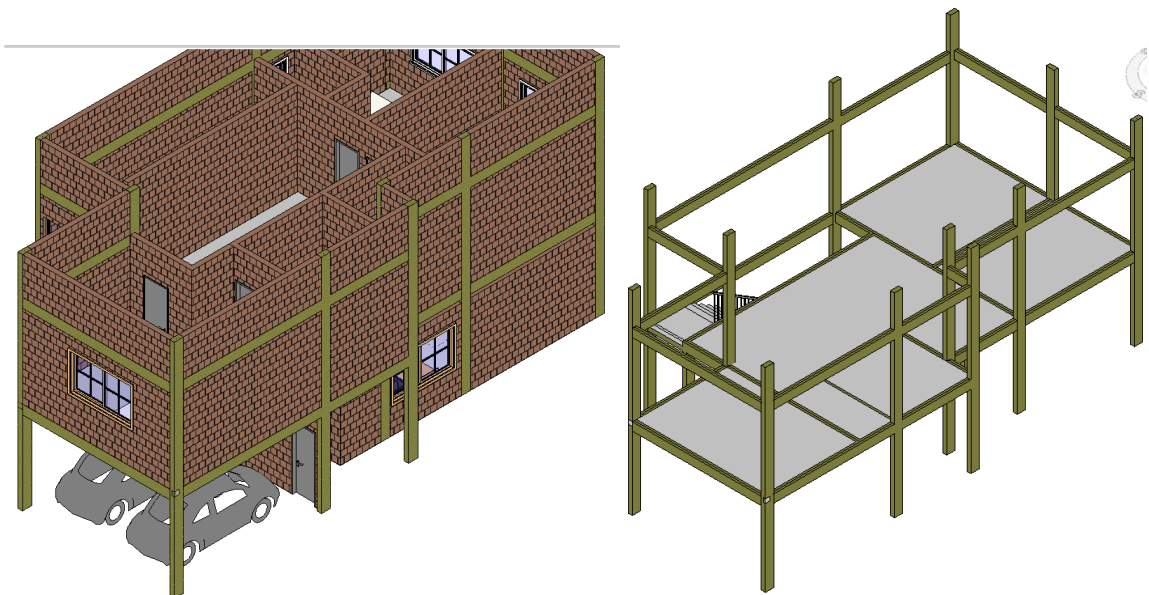
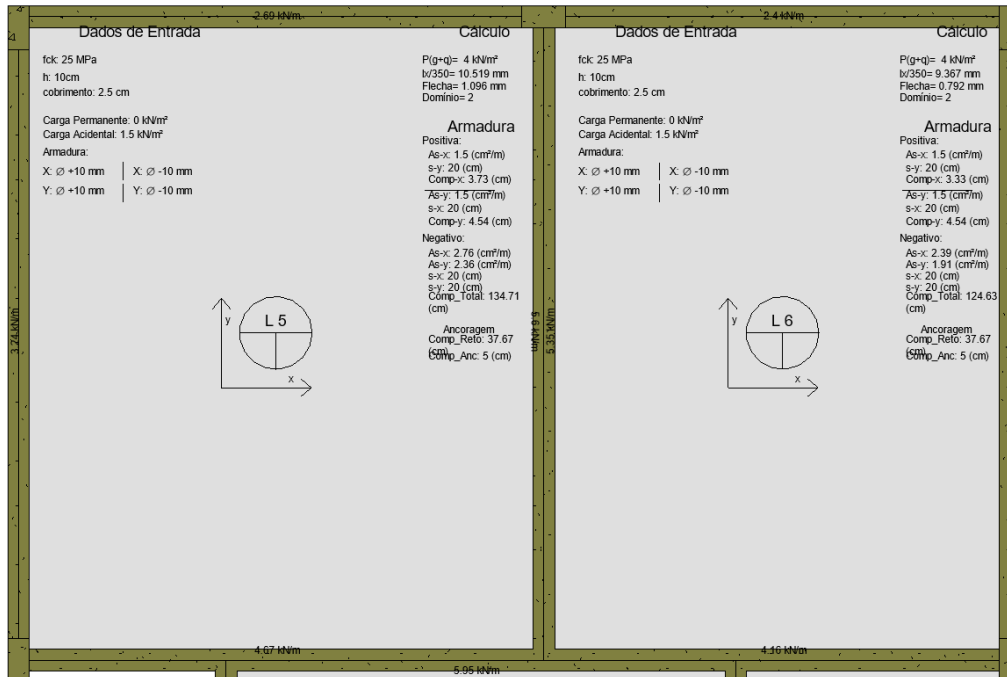


FIGURA 21: Lançamento de um projeto de sobrado no Revit.

FONTE: Autoria Própria

Os resultados obtidos a partir da implementação das rotinas no Dynamo Revit corroboram positivamente com as expectativas do projeto. A automação do dimensionamento de lajes maciças, considerando diferentes parâmetros de entrada, revelou-se eficaz e consistente, proporcionando geometrias finais, reações nas vigas, alturas mínimas, flechas e áreas de aço alinhadas com as normativas de segurança e as práticas estabelecidas na literatura.

**FIGURA 22:** Duas lajes dimensionada.

FONTE: Autoria Própria

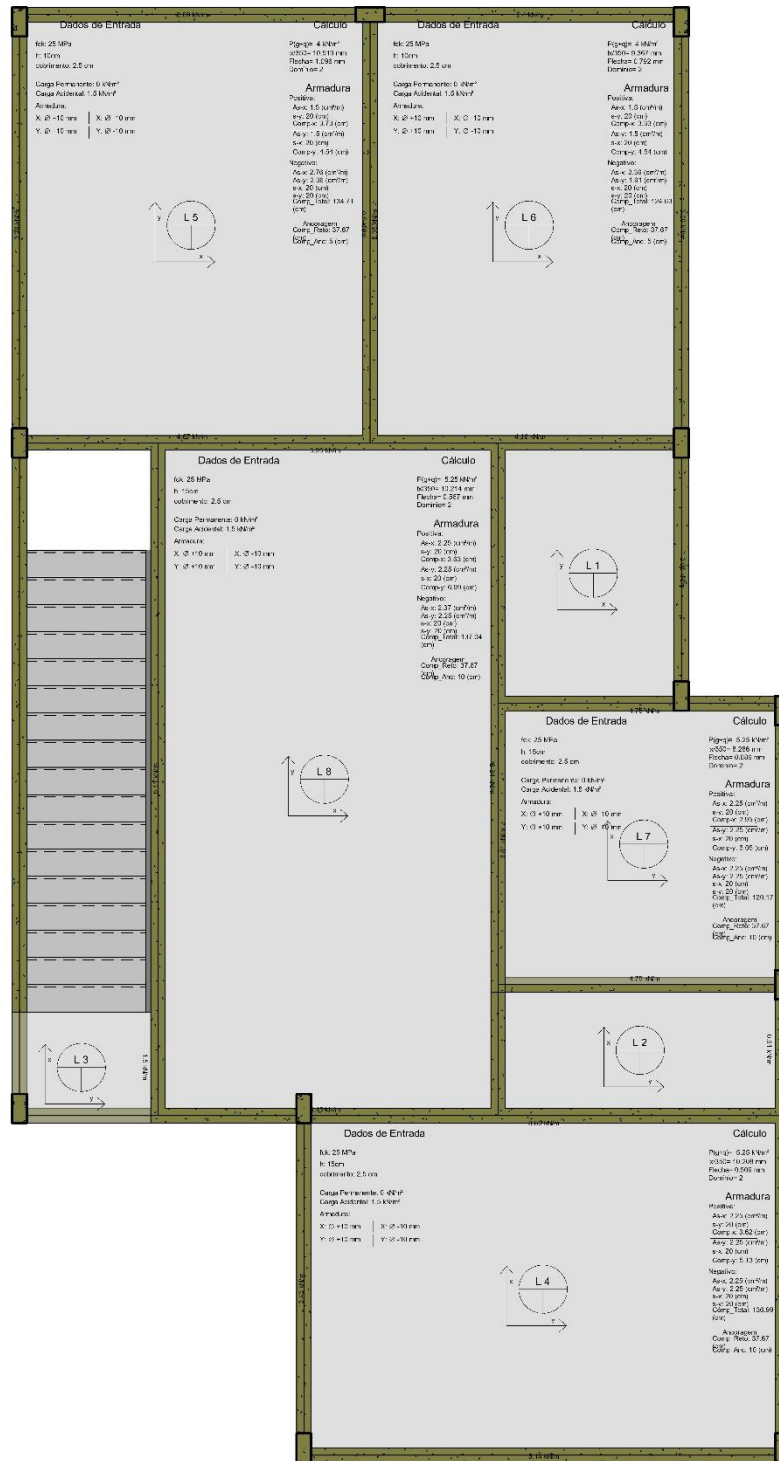


FIGURA 23: Todas as lajes do primeiro pavimento 01.

No entanto, identificaram-se oportunidades de aprimoramento no sentido de proporcionar uma análise mais abrangente da estrutura. A verificação do esforço cortante, por exemplo, não foi contemplada nas rotinas desenvolvidas, representando uma área passível de refinamento. O desenvolvimento de uma rotina adicional para calcular o esforço cortante e integrá-la ao processo de dimensionamento seria um passo significativo para abranger de forma mais completa os aspectos estruturais.

Além disso, visando uma abordagem mais holística, está sendo trabalhada uma extensão do código que, a partir dos resultados calculados, automatiza o lançamento da armadura de forma integrada no modelo

3D do Revit. Essa iniciativa visa otimizar ainda mais o processo de projeto, garantindo a coesão entre o dimensionamento estrutural e a representação gráfica no ambiente de modelagem.

Em resumo, embora o código tenha atendido às expectativas iniciais, a busca contínua por aprimoramentos e expansões é fundamental para fortalecer a versatilidade e a eficiência das rotinas no contexto do dimensionamento estrutural no ambiente Revit.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rotinas desenvolvidas demonstraram consistência ao lidar com diversas condições de projeto, proporcionando resultados alinhados com as normativas de segurança e práticas de engenharia estrutural.

Embora tenham sido alcançados resultados satisfatórios, reconhece-se a importância da melhoria contínua. Identificaram-se oportunidades para aprimoramentos.

Assim, as considerações finais destacam não apenas os resultados obtidos, mas também a natureza adaptativa e evolutiva dessa abordagem, inserindo-se no contexto mais amplo da transformação digital na engenharia civil.

7. CONCLUSÃO

Em síntese, este trabalho alcançou êxito ao automatizar o dimensionamento de lajes maciças por meio do Dynamo Revit, integrando-se de forma eficiente ao ambiente de modelagem 3D do Revit. Os resultados obtidos evidenciaram consistência nas diversas condições de projeto, alinhando-se às normativas de segurança e práticas de engenharia estrutural.

Apesar dos resultados positivos, identificamos áreas para futuras melhorias, como a inclusão da verificação do esforço cortante e a expansão das rotinas para vigas T. Essas perspectivas visam aprimorar a abordagem, tornando-a mais abrangente e adaptável a diferentes cenários estruturais.

A automação do lançamento da armadura e a extensão das rotinas para outros elementos estruturais representam contribuições potenciais para a eficiência e praticidade no dimensionamento estrutural. Ao integrar essas ferramentas ao fluxo de trabalho de projetistas e engenheiros, espera-se não apenas otimizar tarefas, mas também promover uma colaboração mais efetiva ao longo do ciclo de vida do projeto.

Nesse contexto, a principal contribuição deste trabalho reside na introdução de uma abordagem automatizada e integrada ao ambiente Revit, apresentando uma alternativa para o dimensionamento estrutural de lajes maciças. Esta pesquisa destaca-se como um passo significativo na aplicação prática da transformação digital na engenharia civil, oferecendo soluções adaptáveis e eficientes para desafios específicos na área de conhecimento.

8. AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos ao Instituto Federal Goiano - Campus Trindade, por proporcionar o ambiente propício ao desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelo suporte, recursos e pela oportunidade de explorar e aplicar conhecimentos no âmbito da engenharia civil.

Meus agradecimentos se estendem aos professores e colaboradores que contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço pela orientação, incentivo e pelo compartilhamento de conhecimentos que enriqueceram esta jornada.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, foram parte dessa trajetória, colaborando para o enriquecimento do conhecimento e o sucesso deste trabalho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK. Autodesk Revit 2023 Help. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/?guid=RevitDynamo_Dynamo_for_Revit_html. Acesso em: 15 janeiro 2023.

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

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

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

CARVALHO, R. Chust; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos, 2014, 320-373 p.

MACHADO, Inês do Carmo Gonçalves. **Automatização de processos BIM através da utilização Dynamo aplicado ao projeto de estruturas**. 2022.

SENA, P. C. P - **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#** dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019