

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNA MARTINS SOARES ELORDE

**DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO POR MEIO DE
ROTINA COMPUTACIONAL INTEGRADA AO CONCEITO BIM**

Piumhi - MG

2022

BRUNA MARTINS SOARES ELORDE

**DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO POR MEIO DE
ROTINA COMPUTACIONAL INTEGRADA AO CONCEITO BIM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Tobias Ferreira Ribeiro

Piumhi - MG

2022

E48d Elorde, Bruna Martins Soares.

Dimensionamento em vigas de concreto armado por meio de rotina computacional integrada ao conceito BIM [manuscrito] / Bruna Martins Soares Elorde. – 2022.
87 f.: il.

Orientador: Tobias Ribeiro Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*, 2022.

1. Vigas de concreto. 2. Concreto armado. 3. Modelagem de informação da construção (BIM). 4. Autodesk Revit (Programa de computador). I. Ferreira, Tobias Ribeiro. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*. III. Título.

CDD

624

BRUNA MARTINS SOARES ELORDE

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO POR MEIO DE ROTINA COMPUTACIONAL INTEGRADA AO CONCEITO BIM

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 22/06/2022|pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Tobias Ribeiro Ferreira, Professor**, em 08/07/2022, às 22:55, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Humberto Coelho de Melo, Professor**, em 11/07/2022, às 09:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Thais de Oliveira Azevedo, Professora Substituta**, em 11/07/2022, às 14:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes Tome, Professora**, em 12/07/2022, às 14:14, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1248682** e o código CRC **FE941900**.

AGRADECIMENTOS

Para a realização desse trabalho foi necessário a contribuição de várias pessoas ao longo desse tempo de graduação, sou muito grata a eles, principalmente:

A Deus, por sempre estar comigo me dando força e coragem para superar todas as dificuldades.

Ao meu marido Otavio, por todo o incentivo nos melhores e piores momentos. Aos meus pais Valdinei e Rozinei que mesmo de longe sempre me apoiaram. Aos meus sogros que também foram minha rede de apoio desde o começo. As minhas amigas Ana Carolina e Yara Rocha pelo companheirismo ao longo da graduação. Obrigada por acreditarem em minha capacidade e almejar o meu sucesso, amo muito vocês.

Agradeço meu orientador Professor Me. Tobias Ferreira Ribeiro por todo o suporte e incentivo, na construção deste trabalho.

Também agradeço aos professores do curso de Engenharia Civil do Instituto federal de Minas Gerais do *Campus* Avançado Piumhi, por todos os ensinamentos.

“Você nunca sabe a força que tem. Até que a sua única alternativa é ser forte.”

Johnny Depp

RESUMO

O uso do *Building Information Modeling* (BIM) possibilita a criação de um modelo virtual da construção que permite a identificação de erros e incompatibilizações ainda na fase de projeto pela sua capacidade de integração, interoperabilidade e compatibilização. Portanto o presente trabalho buscou desenvolver uma rotina computacional de dimensionamento de vigas biapoiadas em concreto armado integrada ao conceito BIM, em uma interação com *Microsoft Excel*, *Dynamo* e *Revit*. Para isso foi necessário primeiramente a realização de uma revisão bibliográfica dos conceitos pertinentes ao tema para que fosse possível a elaboração de uma planilha para o dimensionamento geométrico e estrutural de vigas retangulares biapoiadas submetidas a flexão simples, considerando armadura simples e concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa, também foi necessário desenvolver duas rotinas de programação no *Dynamo* para transferência de dados do *Revit* para o *Excel* e do *Excel* para o *Revit*. Com o desenvolvimento da rotina foi possível demonstrar a aplicabilidade da interação automatizada do *Revit* e do *Excel*, e a importância do uso do BIM nessa etapa.

Palavras-chave: Vigas de Concreto. Concreto Armado. BIM. Revit.

ABSTRACT

The Building Information Modeling (BIM) usage enables a virtual model's in the construction that allows the errors' identification and incompatibilities still in the design phase by its integration, inoperability and compatibility's capacity. Therefore, the present work aimed to develop a computational routine for the design of two-supported beams in reinforced concrete integrated with the BIM concept, interacting with Microsoft Excel, Dynamo and Revit. For this it was first necessary to conduct a literature review of the relevant concepts to the subject to enable the development of a spreadsheet for the geometric and structural design of two-supported rectangular beams exposed to simple bending, considering simple reinforcement and concrete with $f_{ck} \leq 50$ MPa, it was also necessary to develop two programming routines in Dynamo for data transfer from Revit to Excel and from Excel to Revit. With the routine development it was possible to demonstrate the applicability of the automated interaction of Revit and Excel, and the BIM usage value.

Keywords: Concrete Beams. Reinforced Concrete. BIM. Revit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - BIM no ciclo de vida de um projeto	15
Figura 2 - BIM e Interoperabilidade	16
Figura 3 - Prancha virtual de um projeto arquitetônico na interface do Revit.	18
Figura 4 - Prancha virtual de um projeto estrutural na interface do Revit.....	18
Figura 5 - <i>Dynamo e Revit</i>	19
Figura 6 – Interface do <i>Dynamo</i>	20
Figura 7 – Nós no <i>Dynamo</i>	20
Figura 8 – Estados de Execução dos Nós.	21
Figura 9 – Biblioteca do <i>Dynamo</i>	22
Figura 10 – Fios no <i>Dynamo</i>	23
Figura 11 - Microsoft Excel.....	24
Figura 12 - Cobrimento da Armadura.....	27
Figura 13 - Fluxo de Cargas.....	30
Figura 14 - Vigas.....	31
Figura 15 - Viga simplesmente apoiada.....	31
Figura 16 – Cálculo do vão efetivo.....	32
Figura 17 - Seção transversal da viga.....	33
Figura 18 – Esforços em uma viga biapoiada.	35
Figura 19 – Diagramas de deformação e tensões na seção solicitada	37
Figura 20 - Espaçamento entre as faces das barras de aço longitudinais	40
Figura 21 - Posições das armaduras nas vigas.....	42
Figura 22 - Armadura em vigas simplesmente apoiadas	49
Figura 23 - Armadura Longitudinal.....	50
Figura 24 - Representação da Armadura	50
Figura 25 - Representação da Armadura, segunda opção.....	51
Figura 26 - Representação gráfica de uma viga.....	52
Figura 27 – Fluxograma da Metodologia.....	53
Figura 28 – Fluxograma de como a rotina funcionará.....	54
Figura 29 – Página de Início.....	55
Figura 30 – Página Dados de Entrada	56
Figura 31 – Página de Resultados	57
Figura 32 – Página de Verificações.....	58
Figura 33 – Página do Resumo dos Resultados	59
Figura 34 – Pagina Base de Dados.....	59
Figura 35 – Rotina Dynamo: Revit para Excel.....	60
Figura 36 – Seleção da viga.....	61
Figura 37 – Nome da viga	62
Figura 38 – Comprimento da viga	63
Figura 39 – Exportação do nome e comprimento da viga para o Excel	64
Figura 40 - Lista	64
Figura 41 – Índice da viga que deseja dimensionar	65
Figura 42 – Rotina Dynamo: Excel para Revit.....	65

Figura 43 – Dados do Excel	66
Figura 44 – Dados do Revit.....	66
Figura 45 – Seleção da Viga	67
Figura 46 -Parâmetros	68
Figura 47 – Valor dos Parâmetros.....	69
Figura 48 – Valor Final Para Largura	70
Figura 49 – Valor Final Para Altura	70
Figura 50 - Estribos	71
Figura 51 – Armadura Longitudinal	71
Figura 52 – Armadura Porta Estribos	72
Figura 53 – Armadura de Pele	72
Figura 54 – Nó para as armaduras.....	73
Figura 55 - Exemplo	74
Figura 56 – Viga exemplo.....	79
Figura 57 – Revit para Excel	80
Figura 58 – Dados de entrada.....	80
Figura 59 - Resultados	81
Figura 60 - Verificações	82
Figura 61 – Resumo dos resultados.....	82
Figura 62 – Exportação dos resultados para Revit.....	83
Figura 63 – Visualização da Viga no Revit.....	83
Figura 64 – Detalhamento	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - Classe de agressividade e a qualidade do concreto	26
Tabela 3 - Cobrimento nominal das armaduras para concreto armado.	28
Tabela 4 - Coeficientes	36
Tabela 5 - Taxas mínimas de armadura de flexão para viga	39
Tabela 6 – Limites de abertura máxima característica das fissuras	46
Tabela 7 – Cálculo das flechas	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	BIM	15
2.2	BIM APLICADO AO PROJETO DE ESTRUTURAS.....	17
2.3	<i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS.....	17
2.3.1	Revit	17
2.3.2	Dynamo	19
2.3.3	Microsoft Excel	23
2.4	PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	24
2.4.1	Concreto Armado	24
2.4.2	Projeto Estrutural.....	28
2.4.3	Elementos Estruturais.....	29
2.4.4	Dimensionamento de vigas em concreto armado.....	30
3	METODOLOGIA	53
4	ETAPAS DA ROTINA COMPUTACIONAL	54
4.1	PLANILHA	54
4.1.1	Início.....	55
4.1.2	Dados de Entrada.....	55
4.1.3	Resultados.....	56
4.1.4	Verificações	58
4.1.5	Resumo	59
4.1.6	Dados	59
4.2	ROTINA DE PROGRAMAÇÃO: REVIT PARA EXCEL	60
4.2.1	Seleção das vigas	61
4.2.2	Nome da Viga.....	61
4.2.3	Comprimento da viga	62
4.2.4	Exportação para Excel.....	63
4.3	ROTINA DE PROGRAMAÇÃO: EXCEL PARA REVIT	65
4.3.1	Dados do Excel	66

4.3.2	Dados do Revit.....	66
4.3.3	Seleção da Viga	67
4.3.4	Parâmetros	67
4.3.5	Valor Dos Parâmetros	68
4.3.6	Valor Final Para Largura e Altura	69
4.3.7	Estribos, Armadura Longitudinal, Porta Estribos e Armadura de Pele	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1	EXEMPLO	74
5.1.1	1ª Resolução: Manual.....	74
5.1.2	2ª Resolução: Rotina computacional	79
6	CONCLUSÃO	85
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

Na elaboração de um projeto é necessário realizar várias etapas para sua construção, como a concepção, orçamento, planejamento, conclusão, entre outras. Geralmente cada etapa é de responsabilidade de um profissional especializado, tornando-se importante a comunicação entre os diferentes responsáveis, para que se evite falhas e erros na execução.

O *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, possibilita essa integração dos profissionais especializados em áreas diferentes, permitindo a compatibilização dos projetos em todas as etapas da construção diminuindo os erros e os retrabalhos, com isso reduzindo o custo total da obra e alcançando uma maior qualidade de entrega e produtividade.

“Quando implementado de maneira apropriada, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrados que resulta em construções de melhor qualidade com custo e prazo de execução reduzidos” (EASTMAN et al., 2014, p. 1).

Na área de projetos estruturais, com o desenvolvimento contínuo de rotinas computacionais, *softwares*, aplicativos para atender as demandas e exigências de projeto e dimensionamentos dos elementos estruturais, é fundamental que seja implementada a metodologia BIM pelos benefícios que essa metodologia oferece. Dessa forma Alva (2007) afirma que deve existir a compatibilização do projeto estrutural com os demais projetos para garantir a qualidade de todos os sistemas. Com o BIM essa compatibilização é realizada de maneira automática.

A motivação desse trabalho se dá pela importância de se utilizar o BIM na elaboração de um projeto, e a relevância da implementação desta ferramenta nas empresas da construção civil, já que em alguns países seu uso já é obrigatório.

Diante disso o presente trabalho torna-se relevante para a integração do uso do BIM na realização de uma rotina computacional para o dimensionamento de vigas biapoiadas em concreto armado. A elaboração dessa rotina será a partir da interoperabilidade entre dois *softwares*, o *Revit* desenvolvido pela *Autodesk*[®] e o *Excel* desenvolvido pela *Microsoft*[®]. A interligação desses *softwares* será feita por uma rotina de programação desenvolvida no *Dynamo*, que é um *software* também da *Autodesk*[®] que permite o desenvolvimento de rotinas utilizando a programação visual.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma rotina computacional para o dimensionamento de vigas biapoiadas em concreto armado, para demonstrar a aplicação da ferramenta BIM e a interação automatizada com o Microsoft Excel.

1.1.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma planilha para o dimensionamento geométrico e estrutural de vigas biapoiadas em concreto armado;
- Realizar uma rotina de programação no Dynamo para a interação entre Revit e o Excel;
- Demonstrar a aplicabilidade e a importância do BIM nessa etapa de projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

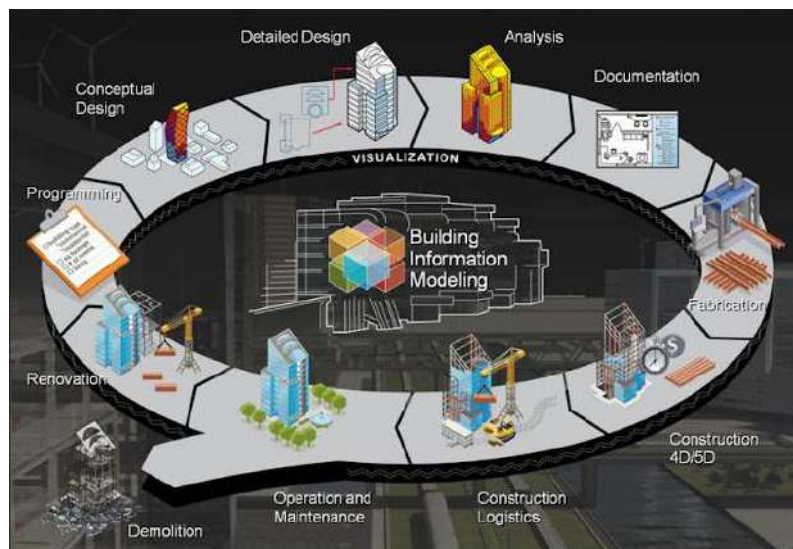
2.1 BIM

Para Lino, Azenha e Lourenço (2012) o *Building Information Modeling* (BIM), é uma metodologia que permite a elaboração de projetos como modelos reais de forma compartilhada e simultânea entre colaboradores de diversas áreas. A modelagem paramétrica permite que qualquer alteração realizada no modelo seja automaticamente corrigida em todas as vistas do projeto, diminuindo os erros que são comuns em projetos em CAD.

Quando um projeto é desenvolvido em BIM, os elementos modelados possuem várias informações, como material, preço, geometria, fabricante, especificações de arquitetura, estrutura e qualquer outra informação que deseja ser salva no seu banco de dados. Com isso é possível o contato com todas as fases do projeto, possibilitando um acompanhamento prévio da construção.

Pontes (2019) afirma que as plataformas integradas ao conceito BIM permitem a visualização de projetos além de 3D, os elementos gráficos podem ser vinculados com o planejamento e cronograma da obra (modelo 4D), o orçamento (modelo 5D) e o gerenciamento do uso e ciclo de vida da obra (modelo 6D), permitindo a extração de várias informações relevantes no decorrer da elaboração e na etapa da execução do projeto como quantidades, materiais, estimativas de custos e a realização de análises, etc.

Figura 1 - BIM no ciclo de vida de um projeto



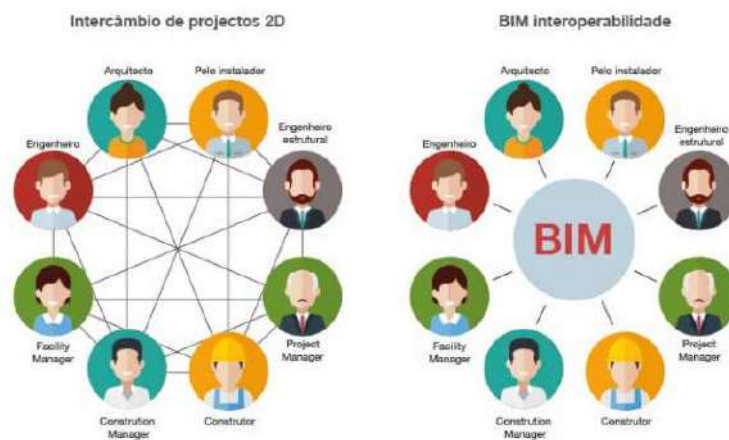
Fonte: Autodesk, 2022.

Segundo Eastman *et. al*, (2014) o uso do BIM proporciona o conhecimento de construção mais cedo no processo de projeto. Com isso as empresas que integram o projeto e a construção são mais beneficiadas, já que todas as fases de projeto podem ser melhor controladas.

De acordo com Pinto (2016) com a utilização de vários *softwares* para a conclusão de um projeto, o BIM pode ser visto como um conceito que proporciona a ligação entre diversos *software* pela aplicação do formato IFC (*Industry Foundation Classes*), permitindo a troca de informações sem perda, em diferentes fases do projeto, não sendo necessária a inserção de alguns dados que já foram introduzidos em outros *softwares* reduzindo o tempo no processo da elaboração do projeto.

Eastman et al. (2014) afirma que a interoperabilidade permite a transferência de dados entre diferentes aplicações, possibilitando o trabalho simultâneo entre profissionais.

Figura 2 - BIM e Interoperabilidade



Fonte: <https://biblus.accasoftware.com>

Lopes (2018) assegura que o conceito BIM proporciona para a gestão de projetos um conjunto de processos que envolve a concepção, manutenção e gestão, facilitando, quando necessário, a realização de intervenções no projeto. Nesse sentido é fundamental o estudo sobre o conceito da metodologia BIM em diversos aspectos para aplicá-la da melhor forma.

2.2 BIM Aplicado ao Projeto de Estruturas

Segundo Lino, Azenha e Lourenço (2012) o BIM introduz novas metodologias na elaboração do projeto de estruturas e na produção da sua documentação, no qual apoia os arquitetos, os engenheiros e os construtores a melhor projetarem e a melhor planearem a sua construção e operação. O Assim, o BIM sistematiza um conjunto de políticas, processos e tecnologias inter-relacionados e fornece uma forma de gerenciar projetos de construção e seus dados em formato digital ao longo do ciclo de vida das operações de construção.

Silva (2019), assegura a importância de os engenheiros projetistas saberem lidar com a implementação do BIM nos projetos, pois através de um modelo virtual contém toda a informação necessária para a elaboração da construção, será possível deletar erros e conflitos entre as várias especialidades intervenientes com maior facilidade, que conseqüentemente provocará uma redução significativa nos custos e no tempo de concepção do projeto e construção.

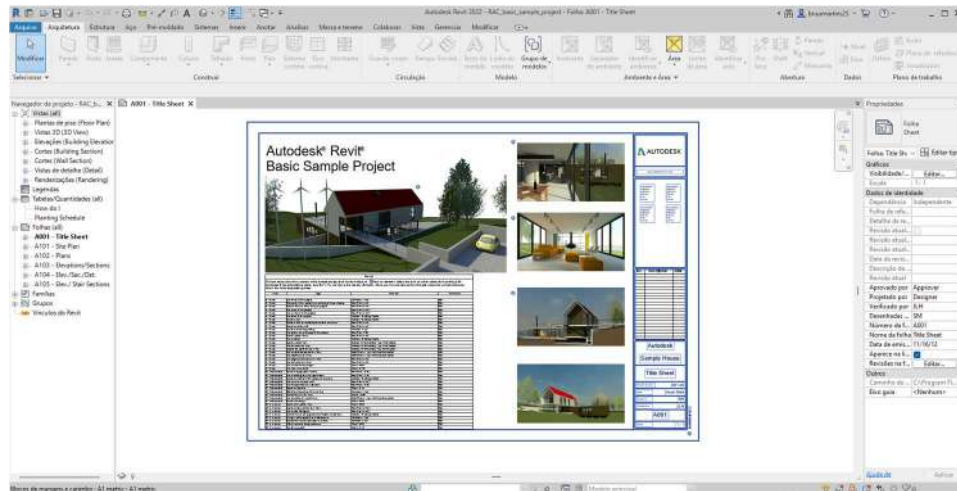
2.3 Softwares utilizados

2.3.1 Revit

O *Revit* é um *software* que utiliza a metodologia BIM, desenvolvido pela empresa *Autodesk*. Ele possui recursos que permitem a elaboração de projetos arquitetônicos, estruturais, elétricos e hidrossanitários. Além disso, possibilita que usuários trabalhem de forma conjunta, bem como a exportação e vínculos de arquivos de diversos formatos.

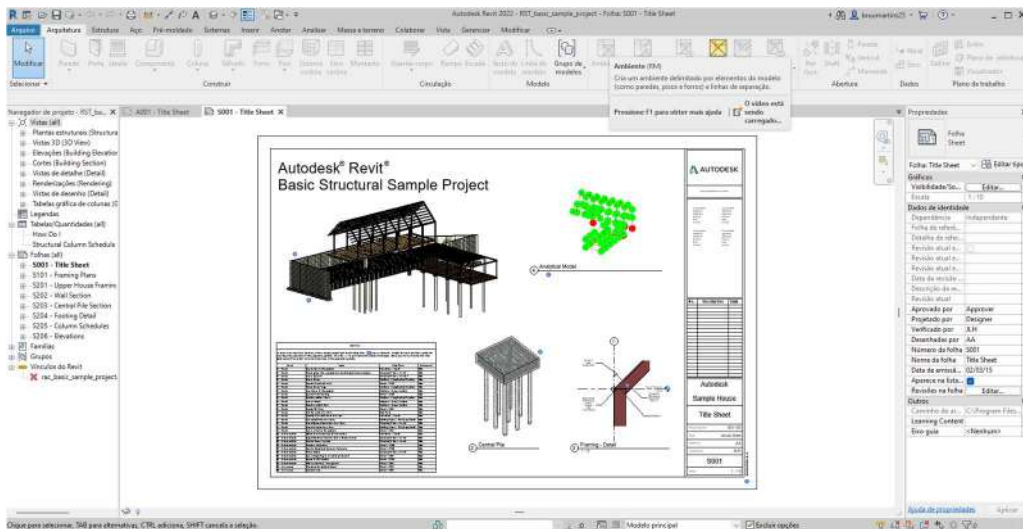
As figuras 3 e 4 mostram a interface do *Revit* com uma amostra de projeto arquitetônico e estrutural apresentado no *software* na versão 2022.

Figura 3 - Prancha virtual de um projeto arquitetônico na interface do Revit.



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Figura 4 - Prancha virtual de um projeto estrutural na interface do Revit.



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Segundo Eastman et. al (2014), o *Revit* é de aprendizagem fácil e intuitiva, apoiada numa interface bem estruturada e atraente.

De acordo com NETO (2018), com a utilização do *Revit* é possível analisar informações como conflito de projetos, simulações de construção. Também é possível a integração de outros *softwares* como de gerenciamento de projetos, orçamentos entre outros. Com *Revit* todos os elementos construtivos possuem informações e características definidas.

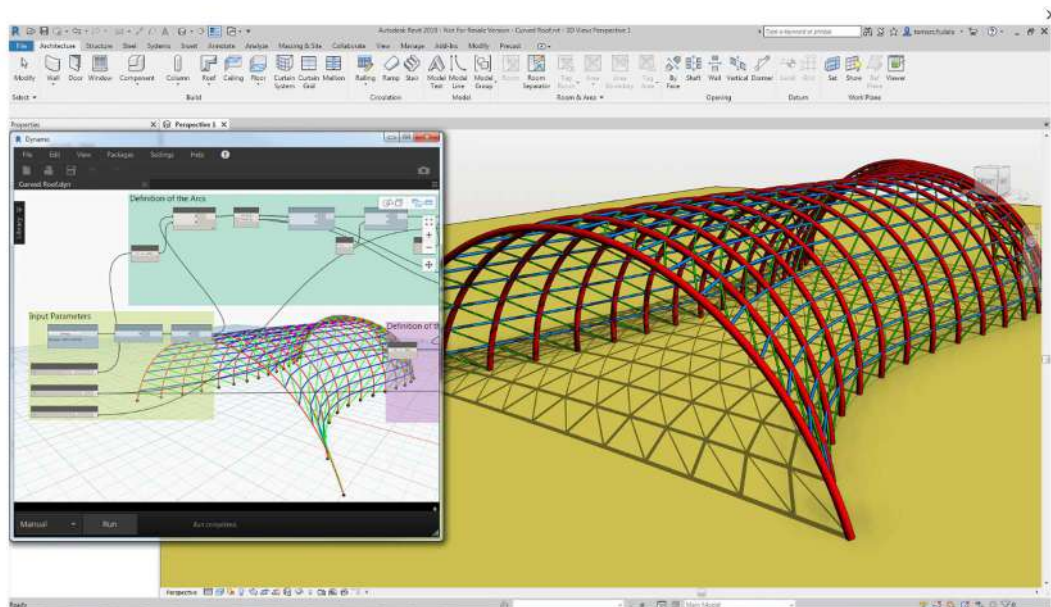
2.3.2 Dynamo

O *Dynamo* é um *software* de programação visual que funciona como um *plug-in* em alguns *softwares* como o *Revit*.

De acordo com Faria (2017), o *Dynamo* é um *software* com aplicação de código aberto, que pode ser instalado com o *Revit*. Ele possui uma interface de programação visual que permite personalizar o fluxo de trabalho, no qual facilita algumas soluções que possam existir na criação de um projeto.

Mas a funcionalidade não está relacionada apenas ao *Revit*, pode ser utilizado como *plug-in* em outros *softwares*, possibilita também a exportação de informações entre os *softwares* diferentes. No presente trabalho haverá um fluxo de tarefas entre o *Revit* e o *Excel* por meio da troca de informações através do *Dynamo*. Na figura 5 podemos ver o trabalho conjunto entre o *Dynamo* e o *Revit*.

Figura 5 - *Dynamo* e *Revit*



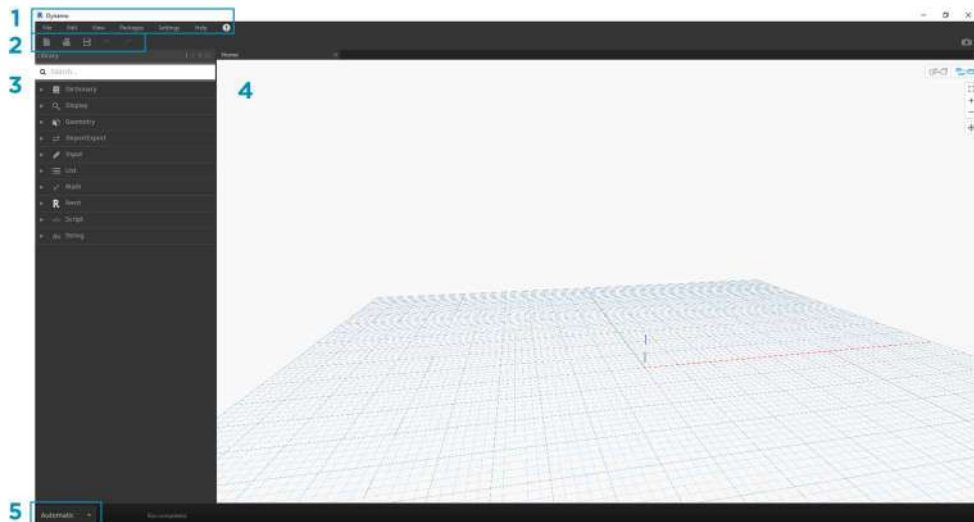
Fonte: Autodesk, 2022.

De acordo com JEZYK, et al. (2019) a interface do *Dynamo* é composta por cinco principais regiões e que pode ser visualizada com detalhe na figura 6:

1. Menus;
2. Barra de Ferramenta;
3. Biblioteca;
4. Área de Trabalho;

5. Barra de Execução.

Figura 6 – Interface do *Dynamo*

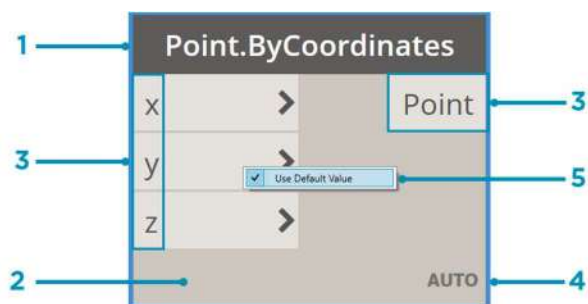


Fonte: JEZYK, et al., 2019.

No *Dynamo* os elementos gráficos responsáveis pela execução das operações são chamados de nós que de acordo com JEZYK, et al. (2019) os nós são objetos que são conectados para formar um programa visual, em que cada nó executa uma operação específica sendo ela simples ou complexa.

Geralmente os nós são compostos por cinco partes (JEZYK, et al., 2019) como mostra a figura 7:

Figura 7 – Nós no *Dynamo*



Fonte: JEZYK, et al., 2019.

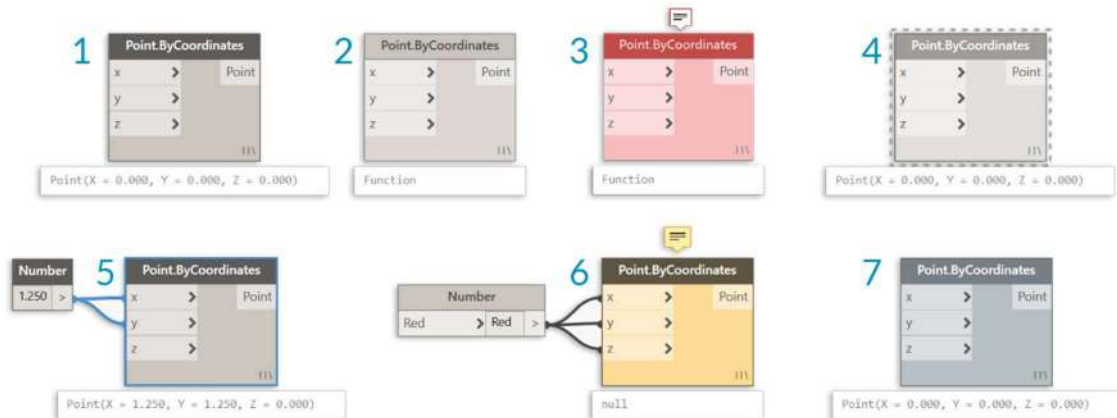
JEZYK, et al. (2019) faz as seguintes definições de cada parte dos nós:

1. Nome - possui uma convenção de nomenclatura *Category.Name*;
2. O corpo principal do Nó;
3. Portas (*In e Out*) - Os receptores para Fios que fornecem os dados de entrada e resultados;
4. Ícone *Lacing* – Pré-visualização;

5. Valor Padrão;

O *Dynamo* indica de forma visual em qual estado de execução o nó se encontra com diferentes esquemas de cores com base no status de cada nó (JEZYK, et al., 2019) como demonstrado na figura 8:

Figura 8 – Estados de Execução dos Nós.



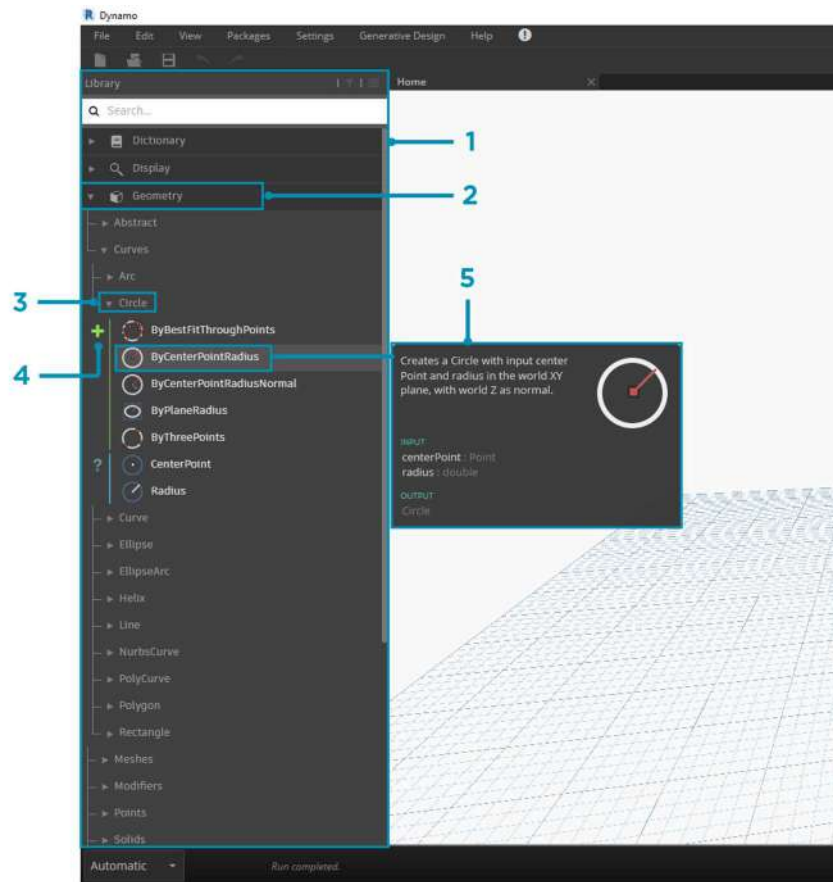
Fonte: JEZYK, et al., 2019.

1. Ativo;
2. Inativo;
3. Erro;
4. Congelado;
5. Selecionado;
6. Aviso;
7. Visualização do plano de fundo;

Conforme JEZYK, et al. (2019) a biblioteca do *Dynamo* contém uma vasta quantidade de nós para realização do fluxo da programação. Na Biblioteca, podemos pesquisar ou navegar para nós.

Os nós contidos na biblioteca são os básicos instalados, os nós personalizados que definimos e os nós do Gerenciador de pacotes que adicionamos ao *Dynamo* em que são organizados hierarquicamente por categoria (JEZYK, et al., 2019) como pode ser visto na figura 9:

Figura 9 – Biblioteca do *Dynamo*.



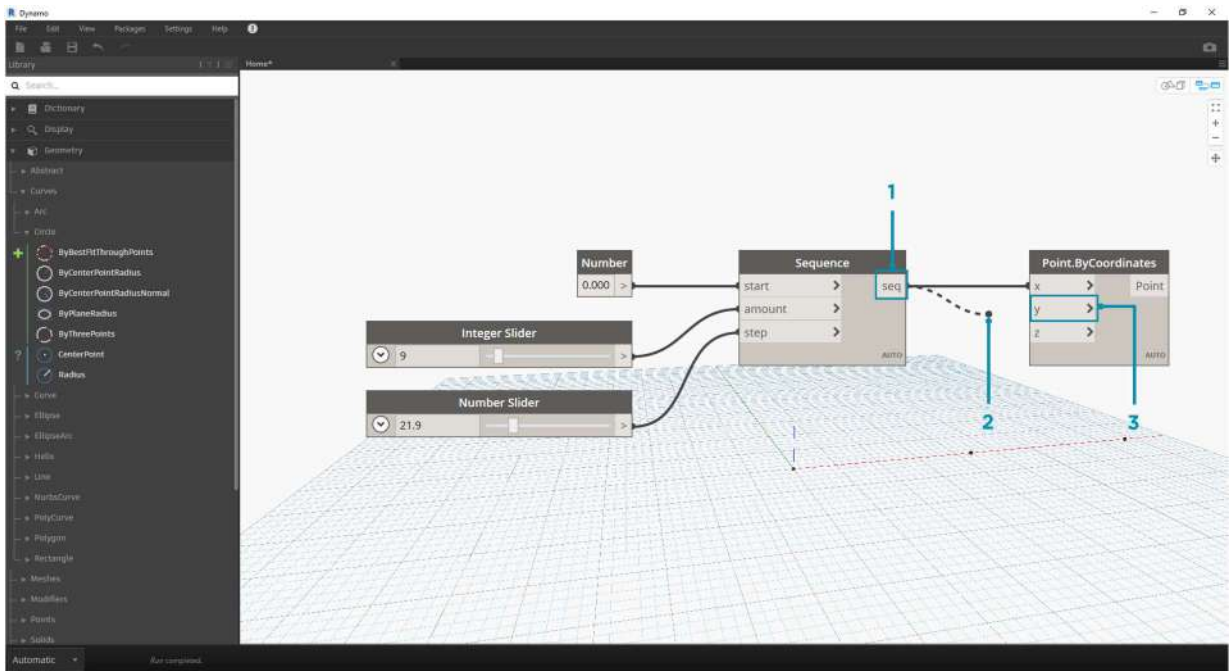
Fonte: JEZYK, et al., 2019.

1. A Biblioteca - A região da interface do Dynamo;
2. Uma biblioteca - uma coleção de categorias relacionadas;
3. A Categoria - Uma coleção de nós relacionados com a categoria;
4. Uma subcategoria - detalhamento dos nós dentro da categoria;
5. Um nó - os objetos que são adicionados ao espaço de trabalho para executar uma ação.

De acordo com JEZYK, et al. (2019) os fios conectam-se e tem como objetivo estabelecer o fluxo do programa visual.

“Podemos pensar neles literalmente como fios elétricos que transportam pulsos de dados de um objeto para outro” (JEZYK, et al., 2019, p.59).

A figura 10 mostra como deve ser feita a criação de um fio:

Figura 10 – Fios no *Dynamo*

Fonte: JEZYK, et al., 2019.

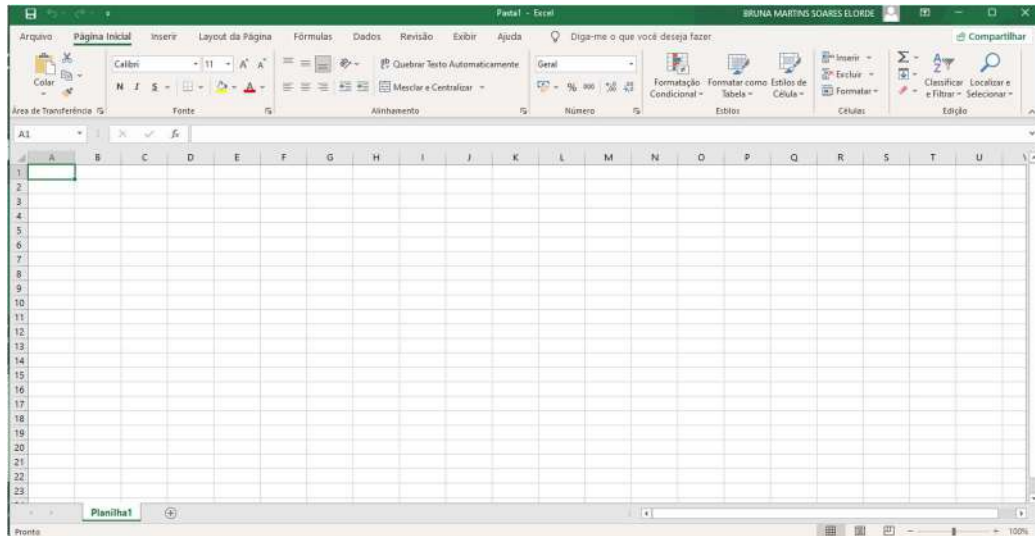
1. Clique na porta de saída do nó;
2. Conforme se movimenta o mouse em direção a outra porta o fio é pontilhado;
3. Clique na porta de entrada do outro nó desejado para completar a conexão.

2.3.3 Microsoft Excel

Segundo a Microsoft (2022), O Excel é uma ferramenta que permite trabalhar com uma vasta quantidade de dados, ele funciona também para realizar cálculos e localizar várias informações adicionadas nas células que podem conter números, textos ou fórmulas.

O Excel é um *software* muito utilizado na área da engenharia civil para realizar rotinas de cálculos de diversas áreas, com isso é possível adicionar sua aplicação ao BIM para a realização de alguns tratamentos de dados. Na Figura 11 é possível ver a interface do *software*.

Figura 11 - Microsoft Excel



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

É importante ressaltar que para o trabalho foi escolhido trabalhar com a *Microsoft Excel*, mas essa interação poderia ser realizada em outros *softwares* livres como o *LibreOffice*.

2.4 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

2.4.1 Concreto Armado

“O concreto armado é o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior” (Araújo, 2010, p.1).

Conforme Carvalho e Figueredo Filho (2014), o concreto possui algumas vantagens como boa resistência à maioria das solicitações; boa trabalhabilidade, se adaptando a várias formas; economia; as técnicas de execução; material durável; é resistente ao fogo, choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos. E como desvantagem seu elevado peso nas construções; reformas e demolições são de difíceis execuções; é um bom condutor de calor e som; e necessita de um sistema de fôrmas e a utilização de escoramentos que precisam permanecer no local até o concreto atingir a resistência adequada.

“O concreto é um material composto de água, cimento e agregados” (Carvalho e Figueredo Filho, 2014, p.19). Mas quando necessário é feita a adição de

elementos que melhoram suas características na fase fresco ou endurecido, como os aditivos e os minerais.

De acordo com Carvalho e Figueredo Filho (2014) para fins estruturais o concreto sozinho não é apropriado como elemento resistente, pelo fato de ter uma boa resistência a compressão, mas uma baixa resistência a tração cerca de 10% da resistência a compressão.

Devido a essa baixa resistência a tração, quando o concreto é empregado sozinho, e o elemento está submetido também a esforços de tração é provável que ele não manterá a integridade da estrutura. Então quando se faz necessário a resistência aos esforços de compressão e tração, associa-se o concreto a materiais que apresentem alta resistência à tração, resultando no concreto armado ou concreto protendido (Porto e Fernandes, 2015).

As barras e os fios de aço utilizados no concreto armado conforme a ABNT NBR 7480 (2007) que se refere ao aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado, são barras com diâmetro nominal de 6,3 mm ou superior, obtidas a partir da laminação a quente sem processo posterior de deformação mecânica, já os fios são obtidos por fio-máquina por trefilação ou laminação a frio, com diâmetros nominais inferiores a 10 mm.

A NBR 7480 (2007) classifica as barras e os fios de acordo com o valor característico da resistência de escoamento, as categorias são C-25 que são barras lisas e C-50 são barras nervuradas e categoria C-60 pode ser liso, entalhado ou nervurados que é a classificação destinada aos fios.

Conforme Araújo (2010), o trabalho conjunto entre o concreto e o aço é graças a aderência entre esses dois materiais, quando o concreto é submetido a tração ele fatura na zona tracionada, devido a sua baixa resistência a tração nesse momento em diante a barra absorve os esforços de tração, impedindo a ruína brusca da estrutura. O concreto absorve os esforços de compressão e protege as armaduras contra corrosão.

2.4.1.1 Durabilidade

A qualidade e durabilidade é outro fator muito importante para a estruturas de concreto armado, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), que trata de projetos de estruturas de concreto, a durabilidade da estrutura consiste em resistir às influências

ambientais previstas e definidas na fase de projeto. Ainda na norma no item 7 é descrito sobre os critérios de projeto que visam a durabilidade.

Segundo Araújo (2010), na consideração da durabilidade devem ser levados em conta os mecanismos de deterioração da estrutura de concreto, como deterioração relativos ao concreto e às armaduras e também deterioração relacionados às ações mecânicas, movimentações de origens térmicas, impactos etc. E também é importante a consideração das ações físicas e químicas relacionadas à agressividade do ambiente.

De acordo com a NBR 6118 (2014), as agressividades ambientais podem ser classificadas conforme a tabela a seguir:

Quadro 1 - Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b} Marinha ^a	Pequeno
III	Forte	Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito Forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118/2014

A NBR 6118 (2014), destaca que a durabilidade é altamente dependente das características do concreto, da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Segundo Araújo (2010) a qualidade do concreto está associada a relação de água e cimento, pois determina a porosidade da massa endurecida, ou seja, a facilidade de penetração de água ou gases no concreto. A norma expõe sobre a relação da agressividade ambiental com a qualidade do concreto armado, conforme detalhado na tabela 2:

Tabela 1 - Classe de agressividade e a qualidade do concreto

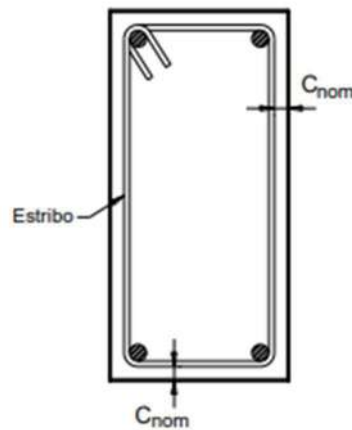
Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV

Relação água/cimento em massa	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classes do concreto ABNT 8953	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118

Segundo Bastos (2019), é importante definir o cobrimento empregado para as armaduras, que é responsável pela proteção das mesmas em um elemento estrutural, essa camada é desde a parte mais externa da barra até a parte externa do elemento em contato com o meio ambiente como mostra a figura 12.

Figura 12 - Cobrimento da Armadura



Fonte: Bastos, 2019.

Para atender os requisitos da NBR 6118 (2014), no que diz a respeito ao cobrimento, deve ser considerado o cobrimento nominal (C_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc), portanto as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos apresentados na Tabela 3, em função da classe de agressividade ambiental, com tolerância de execução (Δc) de 10 mm. No item 7.4.7.6 da NBR 6118 (2014) estabelece-se que para as classes de resistência superiores ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 3 podem ser reduzidos em até 5 mm.

A NBR 6118 (2014) nos itens 7.4.7.5 e 7.4.7.6 estabelece que os cobrimentos nominais de uma barra, devem sempre ser:

- $C_{nom} \geq \phi$ barra;
- $C_{nom} \geq \phi$ feixe = $\phi_n = \phi \sqrt{n}$;
- $C_{nom} \geq 0,5 \phi$ bainha.

A dimensão máxima característica do agregado graúdo ($d_{\text{máx}}$) utilizado no concreto não pode ser superior a 20 % da espessura nominal do revestimento, ou seja:

$$d_{\text{máx}} \leq 1,2 C_{\text{nom}}$$

Tabela 2 - Revestimento nominal das armaduras para concreto armado.

Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Revestimento nominal mm			
Laje	20	25	35	45
Viga/pilar	25	30	40	50
Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118/2014

Portanto, para garantir a qualidade e durabilidade nas estruturas, Carvalho e Figueredo Filho (2014) destaca que no mínimo deve se tomar cuidados referentes aos cálculos e detalhamento como:

- definir a classe de agressividade ambiental;
- valor mínimo da resistência característica do concreto (f_{ck}) e o valor máximo do fator água e cimento (A/C);
- determinar o revestimento mínimo da armadura que deve ser empregado; identificar o uso do edifício para o cálculo de fissuração;
- verificar se a abertura das fissuras atende aos limites prescritos.
- Além disso outros fatores devem ser atendidos também, como bom detalhamento das armaduras, execução adequada, manutenção etc.

2.4.2 Projeto Estrutural

Segundo Kimura (2018), um projeto estrutural de boa qualidade deve garantir que a estrutura atenda três requisitos: segurança, funcionalidade e durabilidade. É importante que se tenha também integração com as outras disciplinas e viabilidade para execução.

Os projetos estruturais no Brasil, devem obedecer às especificações estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 6118

(2014) – Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento, tanto na elaboração dos projetos quanto na execução.

Atualmente a elaboração do projeto estrutural é, na maioria das vezes, realizada através de *softwares* específicos, nos quais são feitas a modelagem, análise, dimensionamento e detalhamento na mesma plataforma. Os programas comerciais mais utilizados são o TQS, Eberic e Cypecad. Mas o padrão na elaboração de todos os projetos está mudando para o desenvolvimento e integração utilizando a ferramenta BIM, para que se tenha um ganho na integração com as outras disciplinas, visualização das interferências e velocidade no desenvolvimento dos projetos.

O projeto estrutural é realizado após o desenvolvimento do projeto arquitetônico ou em conjunto com o mesmo, para que haja a troca de informações entre o arquiteto e o engenheiro. Para a elaboração do projeto deve ser feito a concepção estrutural, análise, dimensionamento e detalhamento.

Conforme Santos (2017), a representação gráfica dos projetos estruturais se resume a dois tipos de desenho: formas e detalhamento das armaduras. Os desenhos de formas determinam a forma da estrutura, ou seja, a definição geométrica da edificação, com todos os elementos estruturais e duas dimensões. Já os desenhos de armadura detalham o posicionamento adotado, os tipos de barras, diâmetro e quantidades.

2.4.3 Elementos Estruturais

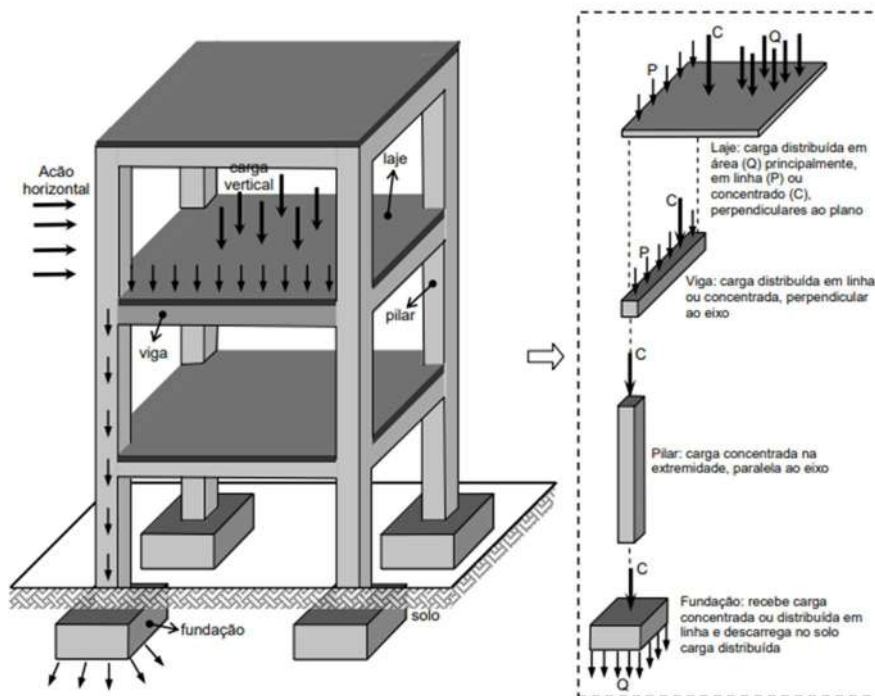
De acordo com Fusco (1976), a superestrutura de uma edificação é composta por três categoria:

- Estrutura primária: Composta por pilares, responsáveis pela resistência global da construção. Recebem cargas provenientes da estrutura secundária e as transferem para as fundações da edificação.
- Estrutura secundária: Composta pelas vigas, as quais recebem cargas diretas ou somente cargas provenientes da estrutura terciária;
- Estrutura terciária: Composta pelas lajes, as quais resistem diretamente aos esforços distribuídos na superfície;

Esses elementos seguem o seguinte fluxo de cargas mostrado na figura

13:

Figura 13 - Fluxo de Cargas



Fonte: Melo, 2013.

Segundo Bastos (2019), as lajes são elementos planos, bidimensionais com a função de piso ou cobertura nas edificações, são responsáveis por receber as ações verticais em função de sua finalidade como pessoas, móveis, pisos, paredes etc. As vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, tem como função vencer vãos e transmitir as cargas para os apoios, os carregamentos são provenientes de lajes, paredes, pilares etc. Os pilares são elementos lineares dispostos na vertical, com forças de compressão preponderantes, as ações que recebe, são decorrentes de vigas e lajes, e são transmitidas para as fundações das edificações.

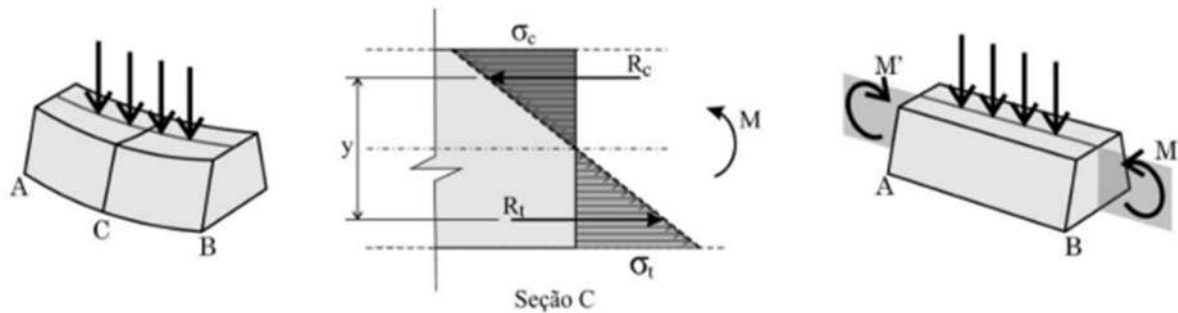
2.4.4 Dimensionamento de vigas em concreto armado

A NBR 6118 (2014) no item 14.4.1 define vigas como elementos lineares em que a flexão é preponderante, a norma define ainda que os elementos lineares são aqueles em que o comprimento longitudinal supera pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal.

Os procedimentos de cálculo a seguir, será direcionado ao dimensionamento de vigas retangulares biapoiadas de concreto armado submetidas

por flexão simples, sujeitas ao carregamento uniformemente distribuído, será considerado para o cálculo concretos com f_{ck} iguais ou inferiores a 50 Mpa.

Figura 14 - Vigas

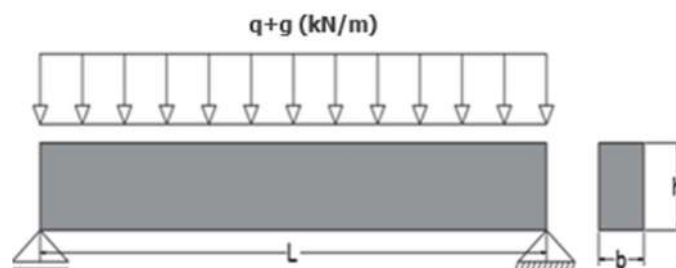


Fonte: Argenta, 2011.

2.4.4.1 Considerações iniciais

Para o dimensionamento, será considerado uma viga simplesmente apoiada com carregamento uniformemente distribuído como indicado na Figura 15.

Figura 15 - Viga simplesmente apoiada



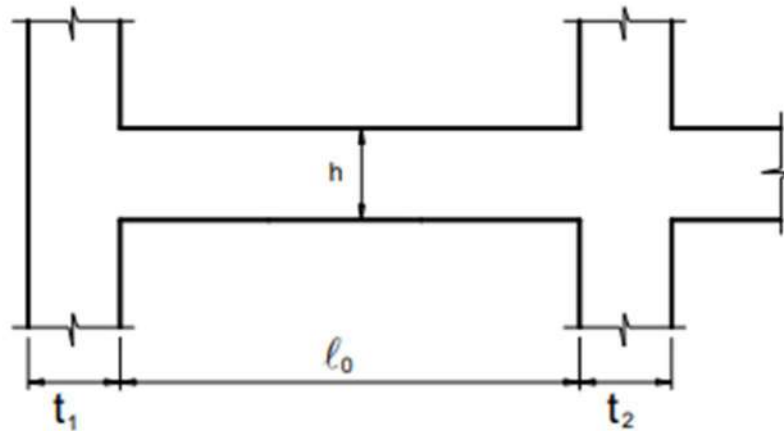
Fonte: Arquivo Pessoal, 2022.

No item 14.6.2.4 da NBR 6118 (2014), descreve-se que a determinação do vão efetivo de uma viga é dada pela Equação 1:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad \text{Equação 1}$$

Em que l_0 é o vão interno entre os apoios, a_1 igual ao menor valor entre ($t_1/2$ e $0,3h$) e a_2 igual ao menor valor entre ($t_2/2$ e $0,3h$), conforme Figura 16:

Figura 16 – Cálculo do vão efetivo



Fonte: Bastos, 2017.

A largura da viga conforme Bastos (2017), que geralmente é a preferência dos engenheiros e arquitetos, é aquela em que as vigas fiquem embutidas nas paredes de vedação, para que não possam ser percebidas visualmente. Com isso a largura das vigas deve ser escolhida em função da espessura final da parede.

De acordo com NBR 6118 (2014), a largura da viga deve ser maior que 12 cm, esse valor pode ser reduzido para no máximo 10 cm desde que respeite as condições estabelecidas na norma.

Bastos (2017) afirma que a altura da viga depende de vários fatores, sendo os mais importantes o vão, o carregamento e a resistência do concreto.

Conforme Pinheiro et.al (2007) uma maneira grosseira de determinar a altura da viga para a realização do pré-dimensionamento se dá pelos seguintes critérios:

- Tramo interno

$$h = \frac{l_0}{12} \quad \text{Equação 2}$$

- Tramo externo ou vigas biapoiadas:

$$h = \frac{l_0}{10} \quad \text{Equação 3}$$

- Balanços:

$$h = \frac{lo}{5} \quad \text{Equação 4}$$

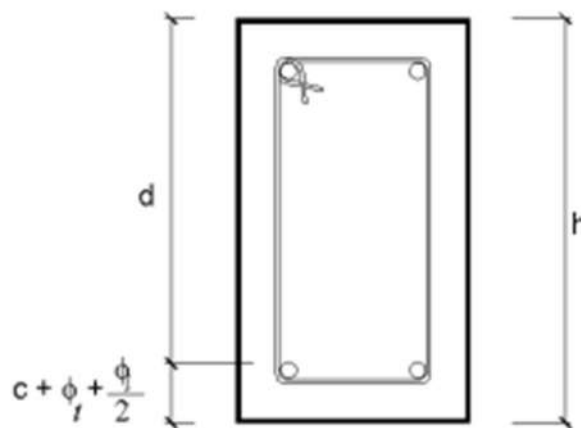
A relação entre a altura total e a altura útil para armadura longitudinal em uma única camada como mostrado na figura 17 é dada pela seguinte expressão:

$$h = d + c + \phi_t + \frac{\phi_l}{2} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

- d = altura útil;
- ϕ_t = diâmetro dos estribos;
- ϕ_l = diâmetro das barras longitudinais;
- c = cobrimento nominal da armadura.

Figura 17 - Seção transversal da viga



Fonte: Pinheiro et.al, 2007

2.4.4.2 Esforços

De acordo com Bastos (2017) A segurança que todos os tipos de estruturas devem apresentar envolve dois aspectos principais. Em primeiro, uma estrutura nunca falha. O segundo aspecto é no que diz respeito ao conforto, a tranquilidade das pessoas durante a utilização do edifício. Nos itens 3.2 e 10 da NBR 61118 (2014) trata esses dois aspectos da segurança apresentando os Estados-Limites, que são

situações limites que as estruturas não devem ultrapassar. A segurança da estrutura contra o colapso relaciona-se ao chamado Estado-Limite Último.

Para proceder com o dimensionamento devem ser determinados todos os esforços que a viga deverá suportar. Para esse cálculo é importante observar as especificações da ABNT NBR 6120 (2019) que trata de ações para o cálculo de estruturas de edificações.

Geralmente os carregamentos presentes nas vigas são provenientes das reações das lajes, cargas de paredes e o peso próprio da viga. Neste trabalho será apresentado apenas a equação para a determinação do peso próprio da viga, tal cálculo pode ser conforme o mostrado na Equação 6. Os demais carregamentos não serão demonstrados já que o objetivo é focar no dimensionamento apenas da viga.

$$P_{pv} = P_{esp,conc} \times A_c \quad \text{Equação 6}$$

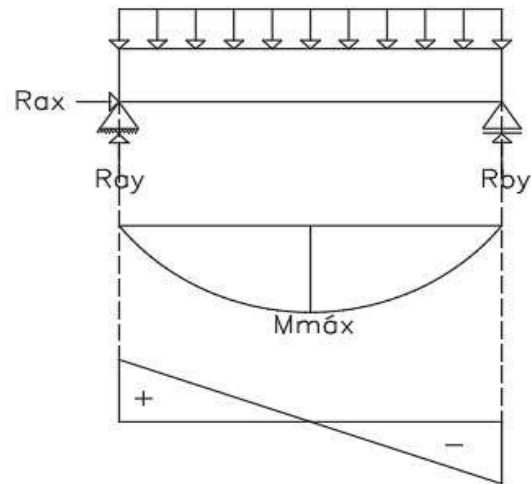
Em que:

- A_c = área da seção do concreto (base x altura);
- $P_{esp, concreto}$ = Peso específico do concreto indicado pela NBR 6120 (2019).

Carvalho e Figueredo Filho (2014) afirmam que um carregamento é definido pelas combinações das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem sobre a estrutura em um determinado período. As combinações devem ser feitas de forma que determinam os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura, e a verificação da segurança em relação aos estados limites últimos e aos estados limites de serviços.

Além da definição peso próprio da viga e dos demais carregamentos permanentes e variáveis, é necessário fazer a combinação dos estados limites dos esforços, para a obtenção do carregamento total que a viga deverá suportar. Para que seja possível a determinação das armaduras e as verificações de acordo com a NBR 65118 (2014). A obtenção dos esforços presentes na viga é conforme a Figura 18.

Figura 18 – Esforços em uma viga biapoiada.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2022.

Considerando as condições de equilíbrio para a determinação das reações e do momento máximo na viga, deve utilizar as seguintes equações:

$$R_{ay} = \frac{q \times l}{2} \quad \text{Equação 7}$$

$$R_{ax} = 0 \quad \text{Equação 8}$$

$$R_{by} = \frac{q \times l}{2} \quad \text{Equação 9}$$

$$M_k = \frac{q \times x \times l^2}{8} \quad \text{Equação 10}$$

$$V_k = \frac{q \times x \times l}{2} \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

- q: é o carregamento total uniformemente distribuído, incluindo as cargas permanentes, peso próprio da viga e cargas variáveis;
- l: é o comprimento efetivo da viga;
- R_{ay} : Reação de apoio em “a” na direção y;

- R_{ax} : Reação de apoio em “a” na direção x;
- R_{by} : Reação de apoio em “b” na direção y;
- M_k : Momento fletor característico;
- V_k : Esforço cortante característico.

Com os esforços determinados e aplicando os devidos coeficientes de cálculo, é possível realizar os dimensionamentos da armadura longitudinal, transversal e realizar as verificações prescritas na NBR 6118/2014.

2.4.4.3 Armadura longitudinal

Como no presente trabalho será limitado ao dimensionamento de armadura longitudinal em armadura simples, para isso a altura útil mínima deve ser menor que a altura útil. De acordo com Carvalho e Figueredo Filho (2014), a altura mínima pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{M_d}{b_w f_{cd}}} \quad \text{Equação 12}$$

Com os valores de momento fletor determinado, deve ser feito a majoração desses valores. Os coeficientes de ponderação das ações nos estados-limites últimos (ELU) de acordo com a NBR 6118 são:

Tabela 3 - Coeficientes

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalque de apoio e retração	
	D	F	D	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1	0	1,2	0,9	0	0

Fonte: Adaptado de ABNR NBR 6118/2014

Em que:

- D: é desfavorável;
- F: é favorável;

- G: representa as cargas variáveis em geral;
- T: é a temperatura;
- a: Para as cargas permanente de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Por tanto o momento fletor de cálculo pode ser determinado utilizando os coeficientes de ponderação 1,4 para permanente e as ações variáveis:

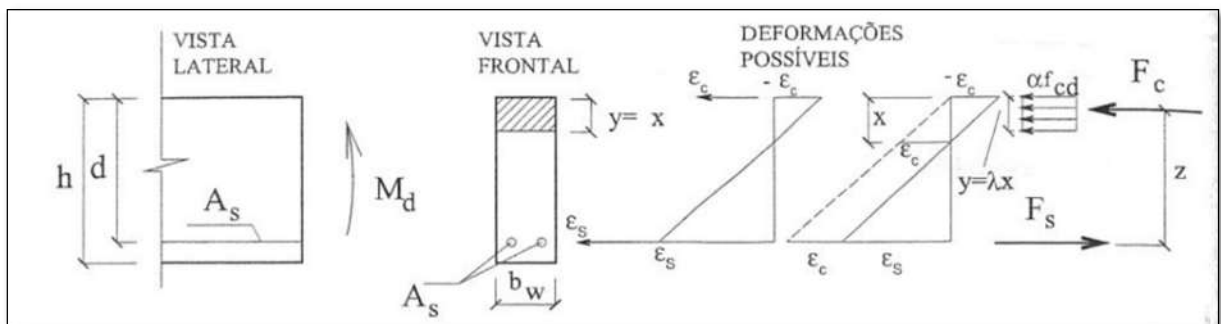
$$Md = \frac{(g + q + p_{p,viga}) \times l^2}{8} \times 1,4 = Mk \times 1,4 \quad \text{Equação 13}$$

No item 14.6.4.3 da NBR 6118 é explícito sobre a posição da linha neutra para proporcionar o adequado comportamento dúctil, a posição da linha neutra no estados-limites últimos (ELU) para concreto com $f_{ck} \leq 50$ Mpa, deve obedecer a seguinte condição:

$$\frac{x}{d} \leq 0,45. \quad \text{Equação 14}$$

O problema de uma seção de concreto armado sujeita à flexão simples em elementos retangulares com concreto de f_{ck} até 50 MPa é dada através da Figura 19:

Figura 19 – Diagramas de deformação e tensões na seção solicitada



Fonte: Carvalho e Figueredo Filho, 2014.

De acordo com Carvalho e Figueredo Filho (2014), para que o equilíbrio da seção seja atendido as forças horizontais no sistema devem ser iguais a zero e o somatório de momentos igual ao momento de cálculo da seção. Portanto temos as equações 15 e 16:

$$\sum F = 0 \rightarrow F_s - F_c = 0 \rightarrow F_s = F_c \quad \text{Equação 15}$$

$$\sum M = M_d \rightarrow M_d = F_c \times z \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

- F_s : Força atuante na armadura;
- F_c : Força atuante no concreto;
- z : braço de alavanca;
- M_d : Momento fletor de cálculo.

Considerando as equações 15 e 16:

$$M_d = F_s \times z \quad \text{Equação 17}$$

Conforme Carvalho e Figueredo Filho (2014), quando a posição da linha neutra é determinada é possível saber qual domínio a peça está trabalhando e calcular a força resultante das tensões de compressão do concreto e o braço de alavanca, de acordo com as equações 18 e 19.

$$F_c = (0,85 \times F_{cd}) \times (b_w) \times (0,8 \times x) \quad \text{Equação 18}$$

$$z = d - 0,4x \quad \text{Equação 19}$$

Substituindo os valores de F_c e z na equação 16, obtemos:

$$M_d = F_c \times z = (0,85 \times F_{cd} \times b_w \times 0,8 \times x) \times (d - 0,4 \times x) \quad \text{Equação 20}$$

Simplificando a equação 19 temos:

$$M_d = (b_w \times F_{cd} \times 0,68) \times (d - 0,4 \times x) \quad \text{Equação 21}$$

Resolvendo a equação 3.21, obtém-se o valor de x que é a posição da linha neutra:

$$x = \frac{0,68 \times d \pm \sqrt{(0,68d)^2 - 4 \times 0,272 \times \left(\frac{M_d}{b_w \times f_{cd}}\right)}}{0,544} \quad \text{Equação 22}$$

Com a posição da linha neutra é possível calcular a área de aço necessária para que a viga na flexão possa suportar o momento de cálculo de acordo com as cargas estabelecidas.

$$A_s = \frac{M_d}{z \times f_{yd}} \quad \text{Equação 23}$$

Ou

$$A_s = \frac{M_d}{(d - 0,4x) \times f_{yd}} \quad \text{Equação 24}$$

Com a área de aço calculada, esta deve ser comparada com a amadura mínima indicado pela NBR 6118. O valor da área de aço adotado deve ser o maior valor entre a área de aço calculado e a área de aço mínima.

De acordo com a NBR 6118 (2014), a armadura mínima deve ser obtida respeitadas as taxas mínimas de armadura de acordo com a Tabela 5:

Tabela 4 - Taxas mínimas de armadura de flexão para viga

Forma da seção	Valor de ρ_{\min} ($A_{s, \min}/A_c$)						
	%						
	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208

Fonte: Adaptado de ABNR NBR 6118/2014

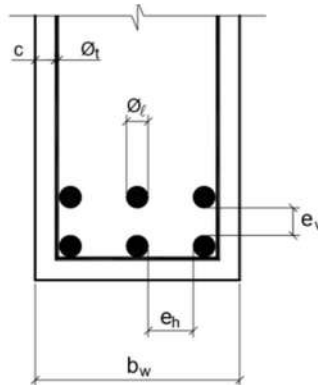
Com a área de aço determinada, bem como o diâmetro da barra e as quantidades, deve ser feito o cálculo para o espaçamento entre as barras, que de acordo com a NBR 6118 o espaçamento mínimo livre entre as faces das barras longitudinais deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores:

- Na direção horizontal (a_h)
 - 20 mm;
 - Diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
 - 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.
- Na direção vertical (a_v)

- 20 mm;
- Diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- 0,5 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Podemos ver como deve ser feito esses espaçamentos de acordo com a figura 20:

Figura 20 - Espaçamento entre as faces das barras de aço longitudinais



Fonte: Bastos, 2015

O número de barras (n) por camada pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$n = \frac{b - 2c - 2\phi_{est} + ah}{\phi_{long} + ah} \quad \text{Equação 25}$$

Por se tratar de uma viga bi apoiada que contém apenas momento positivo, não há armadura comprimida, nestes casos recomenda-se a adoção de uma armadura construtiva chamada por alguns autores de porta estribos. No presente trabalho será considerado a armadura construtiva como um valor fixo de duas barras com diâmetro de oito milímetros.

2.4.4.4 Armadura transversal

A armadura transversal de uma viga é a armadura que corresponde aos estribos necessários para resistir aos esforços cortantes. Para o presente trabalho será realizado o cálculo de acordo com o modelo de cálculo 1 da NBR 6118 no item 17.4.2.2.

Com o valor da força cortante característica determinada, esta deve ser majorada por 1,4 de acordo com a NBR 6118:

$$V_{sd} = V_k \times 1,4 \quad \text{Equação 26}$$

De acordo com a NBR 6118 a verificação da compressão do concreto se dá pelas equações:

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d \quad \text{Equação 27}$$

Em que:

- V_{Rd2} = é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto
- $\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$ e f_{ck} em (MPa);
- f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto;
- b_w = largura da viga;
- d = altura útil da viga.

Para que os resultados atendam as especificações da NBR6118 $V_{sd} \leq V_{Rd2}$.

Para o cálculo da armadura transversal deve-se seguir as seguintes equações:

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad \text{Equação 28}$$

Em que:

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \times 0,9 \times d \times f_{yd} \times (\sin \alpha \times \cos \alpha) \quad \text{Equação 29}$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad \text{Equação 30}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

- b_w = largura da viga;
- d = altura útil da viga
- s = espaçamento entre os elementos da armadura transversal;
- f_{ywd} = é a tensão na armadura transversal passiva
- α = é o ângulo de inclinação da armadura transversal em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural, podendo-se tomar $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Portanto a área da armadura transversal é dada:

$$A_{sw} = \frac{V_{sw} \times s}{0,9 \times f_{yd} \times d} \quad \text{Equação 32}$$

E a área de aço mínima é dada pela seguinte equação:

$$A_{sw,min} = \frac{0,2 \times f_{ctm} \times s \times b_w}{f_{yk}} \quad \text{Equação 33}$$

De acordo com a NBR 6118 (2014) o espaçamento mínimo entre estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural, deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, garantindo um bom adensamento da massa. O espaçamento máximo deve atender às seguintes condições:

- se $V_d \leq 0,67 V_{Rd2}$, então $s_{m\acute{a}x} = 0,6 d \leq 300$ mm;
- se $V_d > 0,67 V_{Rd2}$, então $s_{m\acute{a}x} = 0,3 d \leq 200$ mm.

O espaçamento transversal entre ramos sucessivos da armadura constituída por estribos não pode exceder os seguintes valores:

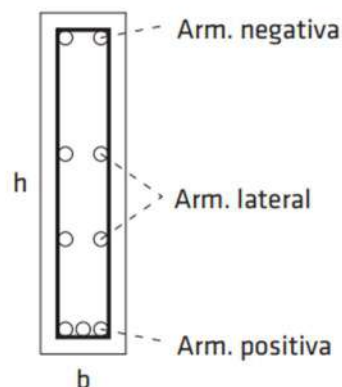
- se $V_d \leq 0,20 V_{Rd2}$, então $s_t, m\acute{a}x = d \leq 800$ mm;
- se $V_d > 0,20 V_{Rd2}$, então $s_t, m\acute{a}x = 0,6 d \leq 350$ mm

A NBR 6118 (2014), também solicita que o diâmetro do estribo deve ser maior ou igual 5 mm, sem exceder 1/10 da largura da alma da viga.

2.4.4.5 Armadura de pele

Santos (2017) explica que a armadura de pele ou armadura lateral tem como função conter abertura de fissuras nas regiões tracionadas das vigas. Na Figura 21 podemos ver um exemplo de armadura de pele.

Figura 21 - Posições das armaduras nas vigas



Fonte: Santos, 2017.

De acordo com a NBR 6118 (2014), a mínima armadura lateral deve ser 0,10 % da área do concreto, em cada face da alma da viga, os afastamentos entre as barras não devem ultrapassar um terço da altura útil e/ou 20 cm. A norma ainda

ressalta que armaduras de peles em vigas com alturas iguais ou inferiores a 60 cm pode ser dispensada.

2.4.4.6 Ancoragem

No item 18.3.2.4 da NBR 6118 (2014), é descrito sobre armadura mínima nos apoios em que a armadura de tração do vão correspondente ao máximo momento, deve ser estendida até o apoio, seguindo as seguintes condições:

$A_{s,apoiio} \geq \frac{A_{s,v\tilde{a}o}}{3}$ se o momento no apoio for nulo ou negativo de valor absoluto $\leq 0,5 \times M_{v\tilde{a}o}$;

$A_{s,apoiio} \geq \frac{A_{s,v\tilde{a}o}}{4}$ Se o momento do apoio for negativo e de valor absoluto $> 0,5 \times M_{v\tilde{a}o}$;

A NBR 6118 (2014), também menciona que para garantir a ancoragem da diagonal de compressão, as armaduras devem ser capazes de resistir a uma força de tração R_{st} dada pela equação seguinte.

$$R_{st} = \frac{al}{d} \times V_d \times N_d \quad \text{Equação 34}$$

Em que

- al = Valor do deslocamento do diagrama de momentos fletores;
- V_d = Força cortante no apoio;
- N_d : é a força de tração eventualmente existente.

No item de 9.3.2.1 da NBR 6118, é apresentada a formulação para a obtenção da resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto:

$$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd} \quad \text{Equação 35}$$

Onde:

- η_1 : 1 para barras lisas; 1,4 para barras entalhadas e 2,25 para barras nervuradas;
- η_2 : 1 para situações de boa aderência e 0,7 para situações de má aderência;
- η_3 : 1 para $\emptyset < 32$ mm e $(132 - \emptyset) / 100$ para $\emptyset \geq 32$ mm

$$- f_{ctd} = f_{ck,inf} / \gamma_c \quad \text{Equação 36}$$

Definido a resistência de aderência de cálculo é possível determinar o comprimento de ancoragem básico dado pela Equação 33 de acordo com a norma NBR 6118 (2014):

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \quad \text{Equação 37}$$

O comprimento de ancoragem necessário de acordo com a NBR 6118 é dado pela Equação 34:

$$l_{b,nec} = \alpha l_b \frac{A_{cal}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,min} \quad \text{Equação 38}$$

Onde:

- α : 1 para barras sem gancho; 0,7 para barras tracionadas com gancho; 0,7 quando houver barras transversais soldadas; 0,5 quando houver barras transversais soldadas conforme 9.4.2.2 da NBR 6118 (2014), e gancho com cobertura no plano normal ao do gancho $\geq 3 \phi$;
- $L_{b, \text{mín.}}$ é o maior valor entre $0,3 l_b$, 10ϕ e 100 mm.

2.4.4.7 Instabilidade Lateral

Segundo a NBR 6118 (2014), a instabilidade lateral de vigas pode ser avaliada pelos seguintes parâmetros:

$$b_w \geq \frac{l}{50} \quad \text{Equação 39}$$

$$b_w \geq \beta_{fl} h \quad \text{Equação 40}$$

Onde:

b_w : largura da zona comprimida;

l : comprimento do flange comprimido;

h : altura da viga;

β_{fl} : é o coeficiente que depende da forma da viga, de acordo com a NBR 6118 (2014), para vigas retangulares o valor é igual a 0,40.

2.4.4.8 Verificações

De acordo com a NBR 6118 (2014) o estado-limite de utilização está associado a durabilidade, aparência e boa utilização. Para garantir a segurança da estrutura devem ser feitas algumas verificações.

2.4.4.8.1 Verificação da Fissuração

De acordo com o item 13.4 da NBR 6118 (2014), a formação de fissuração em estruturas de concreto armado é inevitável, devido sua baixa resistência a tração, por isso é importante o controle da abertura das fissuras para ter bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários.

De acordo com Cunha (2011) é importante a determinação do estágio em que a peça se encontra para a verificação dos estados limites de serviço, no estágio I a tensão de tração no concreto não ultrapassa sua resistência característica à tração, e não há abertura de fissuras, já no estágio II há abertura de fissuras. A separação desses estágios é definida pelo momento de fissuração (M_r), que é o momento fletor capaz de provocar a primeira fissura na peça.

Se $M_{seção} < M_r$, não há fissura, portanto, a peça se encontra no estágio I;

Se $M_{seção} > M_r$, há fissura, portanto, a peça se encontra no estágio II;

De acordo com a NBR 6118 (2014) o momento de fissuração pode ser definido pela Equação 38:

$$M_r = \frac{\alpha f_{ct} I_c}{y_t} \quad \text{Equação 41}$$

Em que:

- α é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta em que é: 1,2 para seções Y ou duplo T; 1,3 para seções I ou T invertido; e 1,5 para seções retangulares.
- y_t é a distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada;
- I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto;
- f_{ct} é a resistência à tração direta do concreto. Para determinação do momento de fissuração, deve ser usado o $f_{ctk, inf}$ no estado-limite de formação de fissuras e o $f_{ct, m}$ no estado-limite de deformação excessiva (ver 8.2.5).

A NBR 6118 (2014) informa que a abertura máxima característica w_k das fissuras, sob ação das combinações frequentes, para que não cause corrosão das armaduras não podem exceder os valores apresentados na tabela 6:

Tabela 5 – Limites de abertura máxima característica das fissuras

Tipo do concreto	Classe de Agressividade Ambiental	Exigências relativas à fissuração	Combinações de ações em serviço a utilizar
Concreto Armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: Adaptado de ABNR NBR 6118/2014

No item 17.3.3 da NBR 6118 (2014) é definido que as fissurações podem ser relacionadas às variações volumétricas da estrutura, condições de execução da estrutura. Por tanto os critérios para análise de fissurações apresentados na norma não garantem a abertura de uma fissura específica, mas é considerado avaliações aceitáveis.

O valor característico da abertura de fissuras w_k é o menor valor obtido dentre as Equações 39 e 40:

$$w_k = \frac{\varphi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_i} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}} \quad \text{Equação 42}$$

$$w_k = \frac{\varphi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_i} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad \text{Equação 43}$$

Onde:

- E_i é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro φ_i ;
- φ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada;
- ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente (que não esteja dentro de bainha) em relação à área da região de envolvimento (A_{cri});
- σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II.

2.4.4.8.2 Verificação de Flechas

Segundo a NBR 6118 (2014), em uma estrutura, o concreto e o aço podem ser considerados como materiais de comportamento elástico linear, de forma que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II.

Para a avaliação aproximada da flecha imediata segundo a NBR 6118(2014), pode-se utilizar a expressão da rigidez equivalente indicada pela Equação 41:

$$(EI)_{eq,t0} = E_{cs} \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c \quad \text{Equação 44}$$

Onde:

- I_c = é o momento de inércia da seção bruta de concreto;
- I_{II} é o momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II, calculado com $\alpha_e = E_s/E_{cs}$
- M_a é o momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, o momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações considerada nessa avaliação;
- M_r é o momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;
- E_{cs} é o módulo de elasticidade secante do concreto.

Segundo Barbosa (2010) a flecha imediata também pode ser calculada pela seguinte equação:

$$f_i = \frac{\alpha M_a l^2}{(EI)_{eq}} \quad \text{Equação 45}$$

Onde:

- i = flecha imediata;
- M_a = momento fletor máximo de serviço;
- l = comprimento efetivo do vão;
- $(EI)_{eq}$ = rigidez equivalente;
- α = Coeficiente que depende das condições de apoio e carregamento, no caso de vigas biapoiadas é 5/384

No item 17.3.2.1.2 da NBR 6118 (2014) é definido como deve ser determinada a flecha diferida no tempo em vigas, decorrente de carga de longa duração em função da fluência. Com a Equação 43 é possível obter o fator de multiplicação da flecha imediata (α_f) para obtenção da flecha diferida:

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50p'} \quad \text{Equação 46}$$

Onde:

$$- p' = \frac{As'}{bd} \quad \text{Equação 47}$$

- ξ = é um coeficiente função do tempo, que pode ser calculado pelas expressões seguintes:
- $\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$
- $\xi(t) = 0,68(0,996t)^t + 0,32$ para $t \leq 70$ meses
- $\xi(t) = 2$ para $t > 70$ meses

Em que:

- t o tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;
- t_0 a idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração. No caso de parcelas da carga de longa duração serem aplicadas em idades diferentes, pode-se tomar para t_0 o valor ponderado a seguir: $t_0 = \frac{\sum P_i t_{0i}}{\sum P_i}$

Onde

- P_i representa as parcelas de carga;
- t_{0i} é a idade em que se aplicou cada parcela P_i , expressa em meses.

De acordo com a NBR 6118 (2014), o valor da flecha total deve ser obtido multiplicando a flecha imediata por $(1 + \alpha_f)$.

É preciso que sejam atendidos os valores de deslocamentos limites recomendados para aceitabilidade sensorial pela limitação visual apresentada pela NBR 6118 (2014) em que:

- Visual: $l/250$, considerando deslocamento total;
- Vibrações: $l/350$, considerando deslocamento devido às cargas variáveis.

2.4.4.9 Detalhamento da armadura

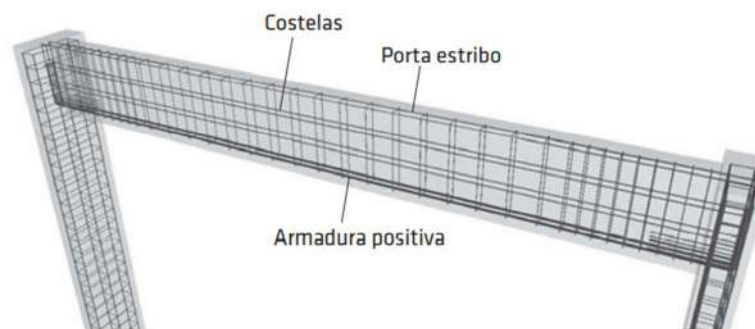
De acordo com a seção 7.5 da NBR 6118 (2014), as barras devem ser dispostas dentro do elemento com o objetivo de facilitar uma boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto. Para isso é importante a elaboração de um bom detalhamento da disposição das armaduras e que o espaço seja suficiente para a entrada da agulha do vibrador.

De acordo com Santos (2017), no interior de uma viga de concreto armado, geralmente existem cinco tipos de armadura:

- armadura de flexão positiva;
- armadura de flexão negativa;
- armadura lateral;
- grampos;
- armadura de cisalhamento e torção (estribos).

No caso das vigas simplesmente apoiadas haverá a armadura lateral (costelas), armadura de flexão positiva, armadura construtiva e os estribos e também podem ser colocados grampos, conforme a Figura 22:

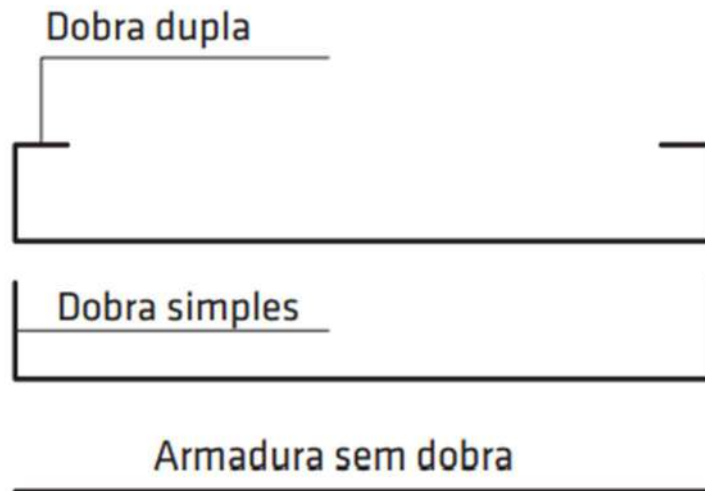
Figura 22 - Armadura em vigas simplesmente apoiadas



Fonte: Santos, 2017.

Segundo Santos (2017) as armaduras longitudinais podem ser retas, com dobra simples ou dupla, dependendo do tipo de ancoragem nos apoios, conforme Figura 23:

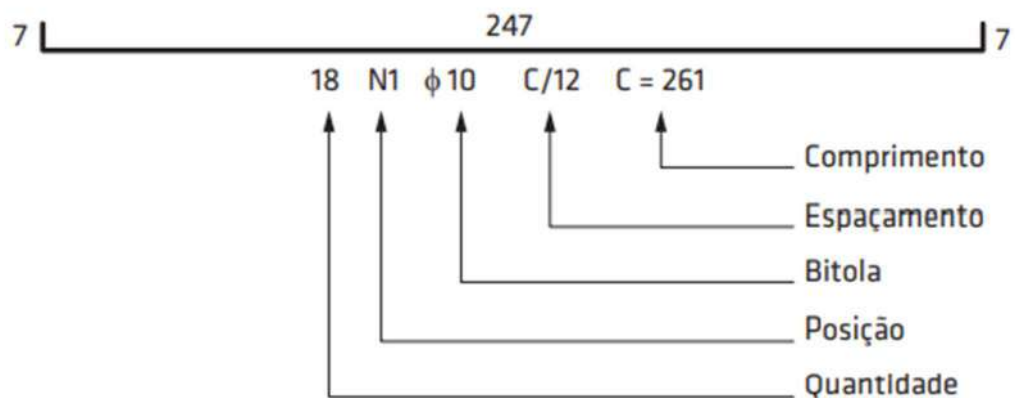
Figura 23 - Armadura Longitudinal



Fonte: Santos, 2017.

As armaduras podem ser codificadas de duas maneiras de acordo com Santos (2017), conforme indicado na Figura 24.

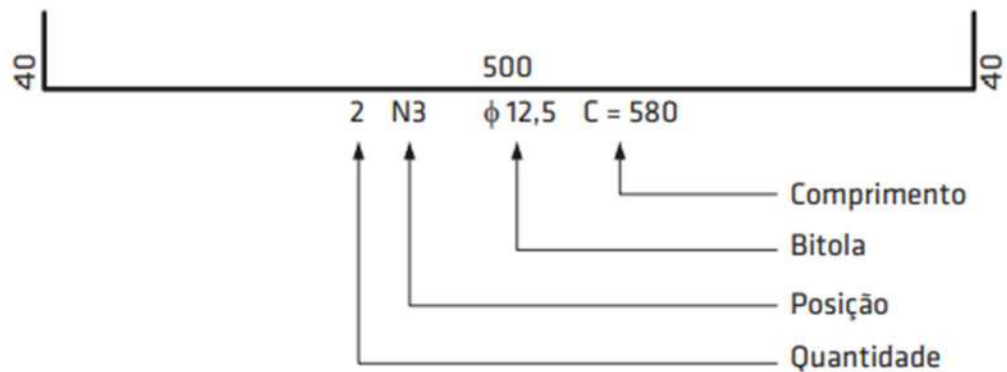
Figura 24 - Representação da Armadura



Fonte: Santos, 2017.

A leitura da Figura 24 é feita da seguinte maneira: 18 barras de ferro N1 cujo diâmetro (ϕ) é de 10,0 mm espaçadas a cada 12 cm e com comprimento de 261 cm. O ferro terá ainda duas dobras de 7 cm. Esse tipo de representação geralmente é utilizado em armadura de sapatas, blocos de coroamento de estacas e lajes.

Figura 25 - Representação da Armadura, segunda opção

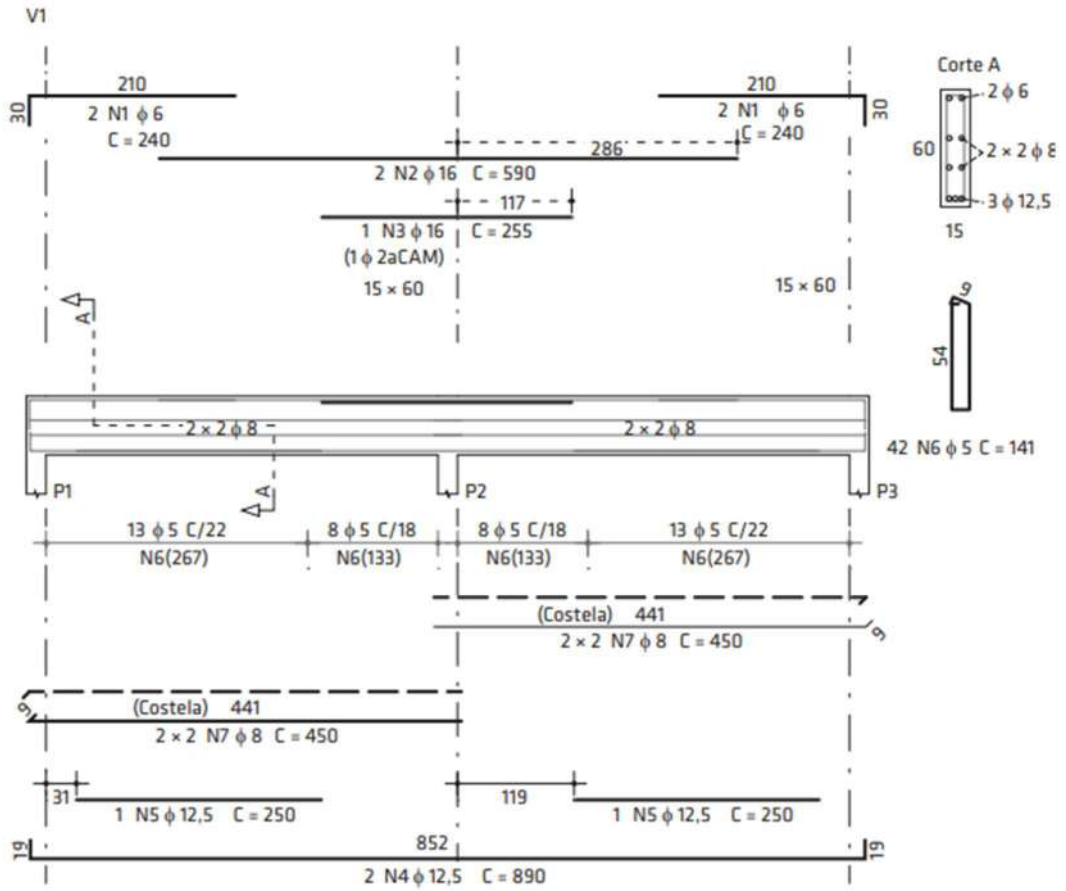


Fonte: Santos, 2017.

Uma segunda opção para representação das armaduras segue o padrão indicado na Figura 215, lê-se da seguinte maneira: duas barras de ferro N3 de diâmetro de 12,5 mm com comprimento de 580 cm; dobra esquerda, 40 cm, e dobra direita, 40 cm. Essa representação é comumente encontrada em armadura de vigas e pilares.

Na representação gráfica de acordo com Santos (2017), a armadura negativa é colocada na parte superior do desenho, e a armadura positiva na parte inferior, a representação da armadura lateral pode ser colocada na parte inferior. Geralmente, o desenho é representado na escala de 1:50, mas os estribos são representados no lado direito do desenho, numa escala maior, em geral 1:25. Na Figura 26 é mostrado um exemplo da representação gráfica de armação de uma viga:

Figura 26 - Representação gráfica de uma viga



Fonte: Santos, 2017.

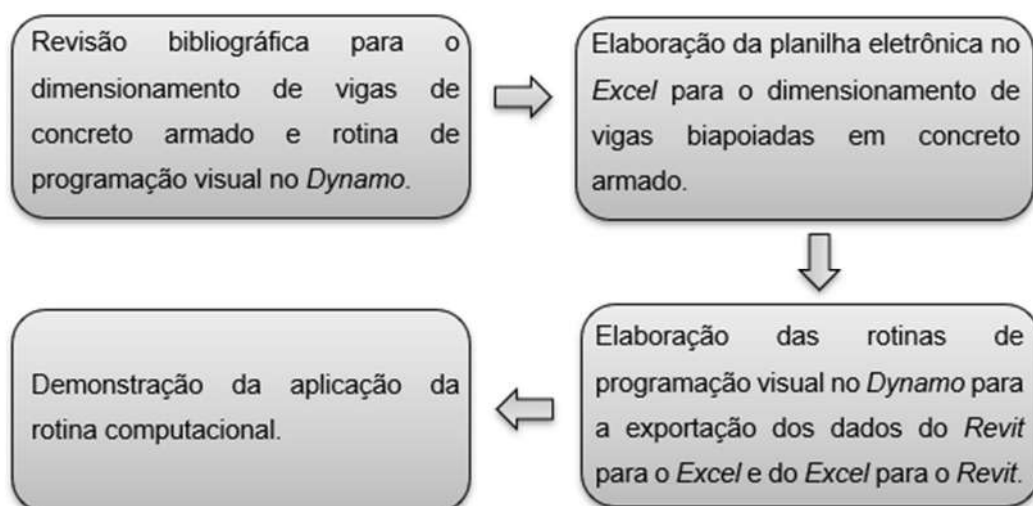
3 METODOLOGIA

Conforme Silva e Menezes (2001) a pesquisa pode ser classificada quanto à sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada pois há a aplicação prática para a solução do problema, também pode ser classificada do ponto de vista dos objetivos como descritiva. O estudo conta com a abordagem quali-quantitativa visto que tem como resultado qualitativo pois há análise e compreensão dos dados objetivos e também quantitativos pois há os resultados numéricos que comprova os objetivos da pesquisa.

Para a realização do trabalho foi necessário primeiramente uma revisão bibliográfica dos métodos para o dimensionamento e as recomendações determinadas pelas normas e também um estudo do funcionamento da programação visual no *Dynamo*. Com as formulações e considerações definidas foi possível a elaboração da planilha no *software Microsoft® Excel* para a automatização de todo o processo de cálculo e depois a elaboração das rotinas de programação visual no *Dynamo*.

Para a demonstração do funcionamento da rotina foi realizado um exemplo prático contendo todas as etapas necessária para sua compreensão.

Figura 27 – Fluxograma da Metodologia

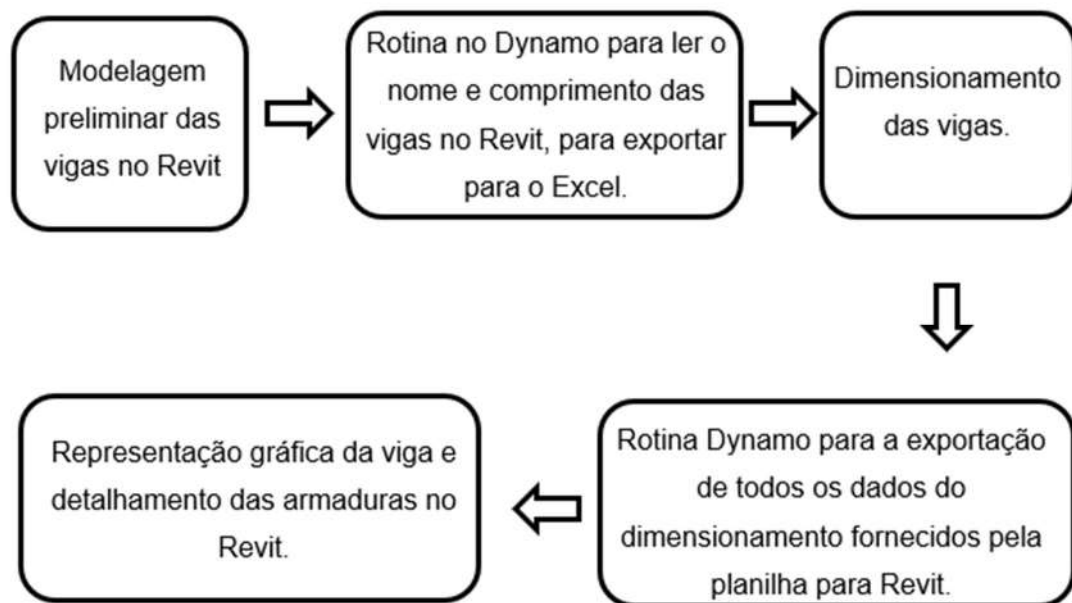


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4 ETAPAS DA ROTINA COMPUTACIONAL

A rotina computacional tem como o objetivo o dimensionamento de vigas biapoiadas em concreto armado e também sua representação gráfica. Com isso o dimensionamento é realizado pela planilha no *Excel* e a representação gráfica no *Revit*, e a interação dos dados dos dois softwares é por meio das rotinas no *Dynamo*. Na figura 28 é demonstrado os procedimentos realizados pela rotina.

Figura 28 – Fluxograma de como a rotina funcionará.



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.1 Planilha

A planilha foi desenvolvida para o dimensionamento de vigas em concreto armado retangulares biapoiadas submetidas a flexão simples, considerando armadura simples e concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa.

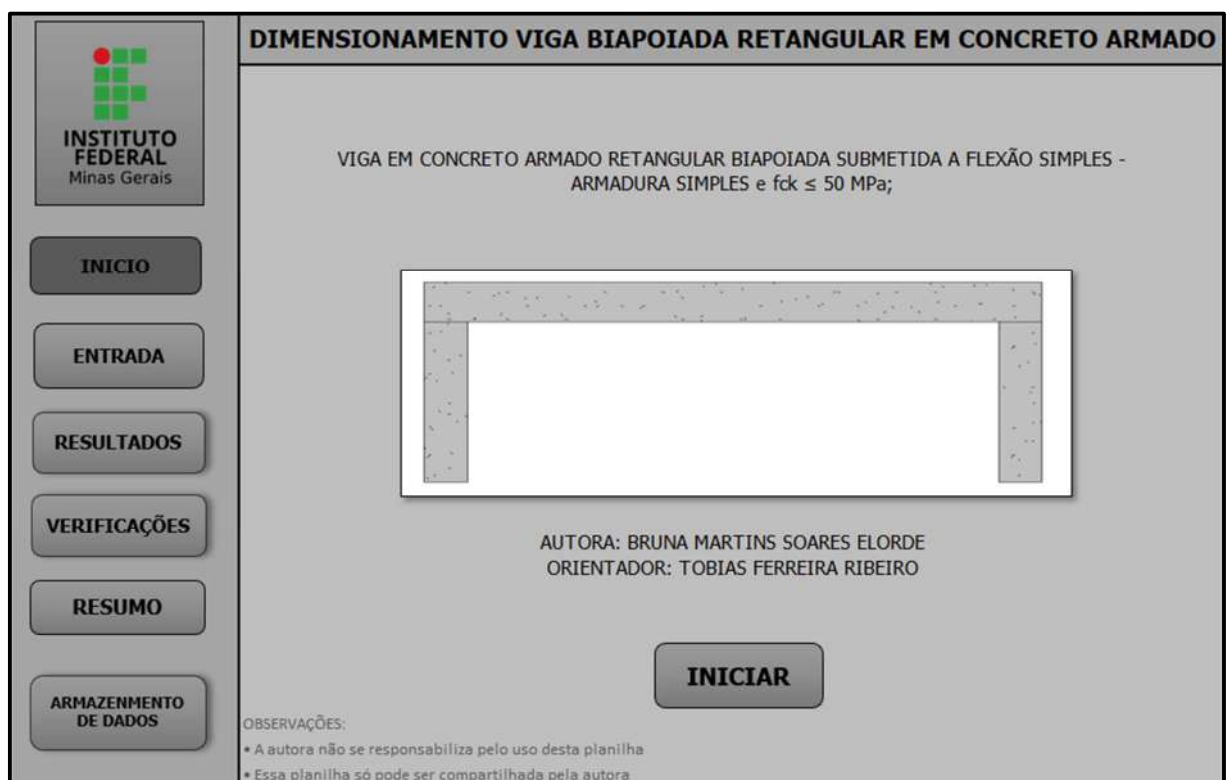
A planilha possui uma interface simplificada e intuitiva, em que o usuário fornece os dados de entrada, logo após é direcionado para uma aba de resultados com todos os valores obtidos em cada etapa de cálculo, em seguida o usuário é direcionado para uma aba com todas as verificações estabelecidas pela NBR 6118 (2014). Com todas as verificações atendidas é mostrado um resumo dos principais resultados.

Nos próximos tópicos será mostrado como foi realizada cada etapa da planilha.

4.1.1 Início

A página de início da planilha é composta por uma barra de navegação, contendo também as informações do tipo de dimensionamento. Pode ser visto a interface da planilha na Figura 28.

Figura 29 – Página de Início



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

No momento que o usuário pressionar o botão de iniciar, será direcionado para a página para a entrada de dados.

4.1.2 Dados de Entrada

Na página dados de entrada é preciso que o usuário forneça todos os dados necessários para o dimensionamento da viga, como pode ser visto na Figura 29.

Figura 30 – Página Dados de Entrada

DADOS DE ENTRADA

Nome da Viga

GEOMETRIA

l (cm)

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

b (cm)

h (cm)

b_{adot.} (cm)

h_{adot.} (cm)

d (cm)

dimensão agregado graúdo (cm)

Classe de agressividade ambiental

MATERIAIS

Concreto: f_{ck} (MPa)

AÇO: f_{yk} (MPa)

AÇO Estribo: f_{yk} (MPa)

CARREGAMENTO

(g) - kN/m

(q) - kN/m

ANCORAGEM

η₁

η₂

η₃

α₁

VERIFICAÇÃO

t (dias)

ψ₁

CALCULAR

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Quando o comprimento da viga é preenchido, é feito um pré-dimensionamento automático da altura, já a largura foi colocada um valor fixo de 15 cm, como um valor de referência.


Os valores de $b_{adot.}$ e $h_{adot.}$ são valores de largura e altura que serão adotados, considerando os valores de pré-dimensionamento.

Os dados que precisam ser preenchidos para a viga são basicamente sobre a geometria, resistência dos materiais, carregamento atuante, ancoragem e informações para a realização das verificações.

4.1.3 Resultados

Na guia de resultado são mostrados todos os valores das etapas do dimensionamento, como o cálculo automático do peso próprio da viga, o valor de cobrimento de acordo com a classe de agressividade, cálculo da armadura longitudinal, transversal, armadura de pele quando necessário e comprimento de ancoragem.

Figura 31 – Página de Resultados



**INSTITUTO
FEDERAL**
Minas Gerais

RESULTADOS

PPv	▼	kN/m
o	▼	cm

Reações

Ra	▼	kN
Rb	▼	kN

Armadura Longitudinal

Mk	▼	kN.m
Md	▼	kN.m
As	▼	cm ²
Asmín	▼	cm ²
Barra (ø)	▼	mm
Quant. Barras	▼	unid.
ah	▼	cm
av	▼	cm
A's	▼	cm ²
Barra (ø)	▼	mm
Quant. Barras	▼	unid.

Armadura transversal

Vsk	▼	kN
Vsd	▼	kN
f _{ct,m}	▼	MPa
Aswmín/s	▼	cm ² /cm
VRd2	▼	kN
f _{ct,d}	▼	MPa
Vc	▼	kN
Vsw	▼	kN
Asw/s	▼	cm ² /cm
Barra (ø)	▼	mm
S	▼	cm
Smáx	▼	cm
Smáx,ramos	▼	cm

Não é necessário Armadura de pele

Aspele		cm ²
Barra (ø)		mm
Quantidade		unid.

Ancoragem

fbd (Mpa)	▼	MPa
lb (cm)	▼	cm
Lb,nec (cm)	▼	cm
lb,min (cm)	▼	cm
n	▼	unid.
barras no apoio	▼	cm ²
Quant. Barras	▼	unid.

VERIFICAÇÕES


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Nas linhas de barras, tanto para a armadura longitudinal como para as armaduras transversais e armadura de pele são disponibilizados uma lista de opções de valores para diâmetro da barra, para que o usuário escolha sua preferência.

4.1.4 Verificações

Na página de verificações são apresentados os valores necessários que devem ser atendidos para o dimensionamento adequado, como instabilidade lateral, comprimento de ancoragem, verificação da fissuração e flechas.

Figura 32 – Página de Verificações



**INSTITUTO
FEDERAL**
Minas Gerais

VERIFICAÇÕES

Cond. Para armadura simples
 $d > d_{mín.}$

Verificação da Área de aço
 $A_s > A_{s\text{mín}}$

Verificação a biela
 $V_{sd} \leq V_{Rd2}$

Armadura de pele
 Utilização de Armd. De Pele

Diametro do estribo
 $5\text{mm} \leq \phi \leq b/10$

Instabilidade Lateral
 $b \geq l/50$

$b \geq \beta f h$

Verificação de ancoragem

$l_{b,nec} > l_{b,min}$

Verificação de fissuração

M_r (kN.m) ✓ M_{at} (kN.m) $M_{at} < M_r$

ESTÁDIO II

σ_e ✓ σ_{sII} (Mpa) ✓ I_{xII} (m⁴) ✓ Y_{si} (cm) ✓

M_{at} (kN.m) σ_{si} (Mpa) ✓ A_{cri} (cm²) ✓ p_{cri} ✓

w ✓ Verif. w ✓ Verif.

Verificação de Flechas

I_{Iig} (cm⁴) M_r (kN.m) ✓ M_{at} (kN.m) I_{xII} (m⁴) ✓

Combinações	p (kN/m)	Mat (kN.m)	Mr/Mat	Im	p/Im	Ecs (Mpa)	a (cm)
Permanente			✓	✓	✓		✓
Q. Permanente			✓	✓	✓		✓
Rara			✓	✓	✓		✓

a_q ✓ $a_q < a_{lim}$

Efeito da Fluência - Considerando CQP

t_0 (meses) $\xi(t_0)$ ✓ $\xi(\infty)$ a_f

ρ' ✓ $\sigma_{tot.\infty}$ $\sigma_{tot.\infty} < \sigma_{ali}$ σ_{cf}

$\sigma_{tot.\infty}$ $\sigma_{tot.\infty} < \sigma_{ali}$

RESUMO

INICIO

ENTRADA

RESULTADOS

VERIFICAÇÕES

RESUMO

ARMAZENAMENTO DE DADOS

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Se todas as verificações estiverem “ok” o usuário pode ir para a guia de resumo, se não, é necessária uma reavaliação dos dados e resultados para efetuar modificações para que o dimensionamento da viga fique correto.

4.1.5 Resumo

Na página de resumo são apresentados os principais resultados do dimensionamento conforme pode ser visto na Figura 32.

Figura 33 – Página do Resumo dos Resultados



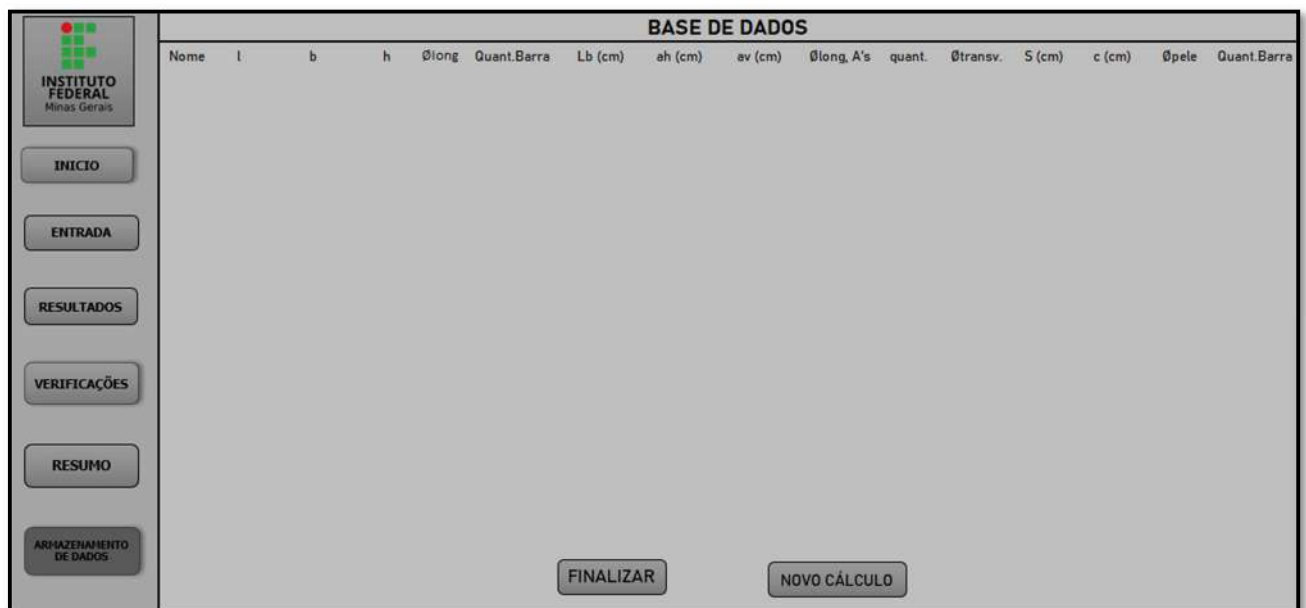
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Nessa guia o usuário verifica os principais resultados e se desejar voltar para modificar alguns dados basta clicar no botão com a seta, mas se deseja armazenar esses dados e calcular outras vigas do projeto, basta clicar no botão para armazenar.

4.1.6 Dados

A guia de dados é responsável para o armazenamento dos dados de cada dimensionamento, se o usuário desejar calcular mais de uma viga e armazenar esses dados a cada dimensionamento é possível.

Figura 34 – Pagina Base de Dados



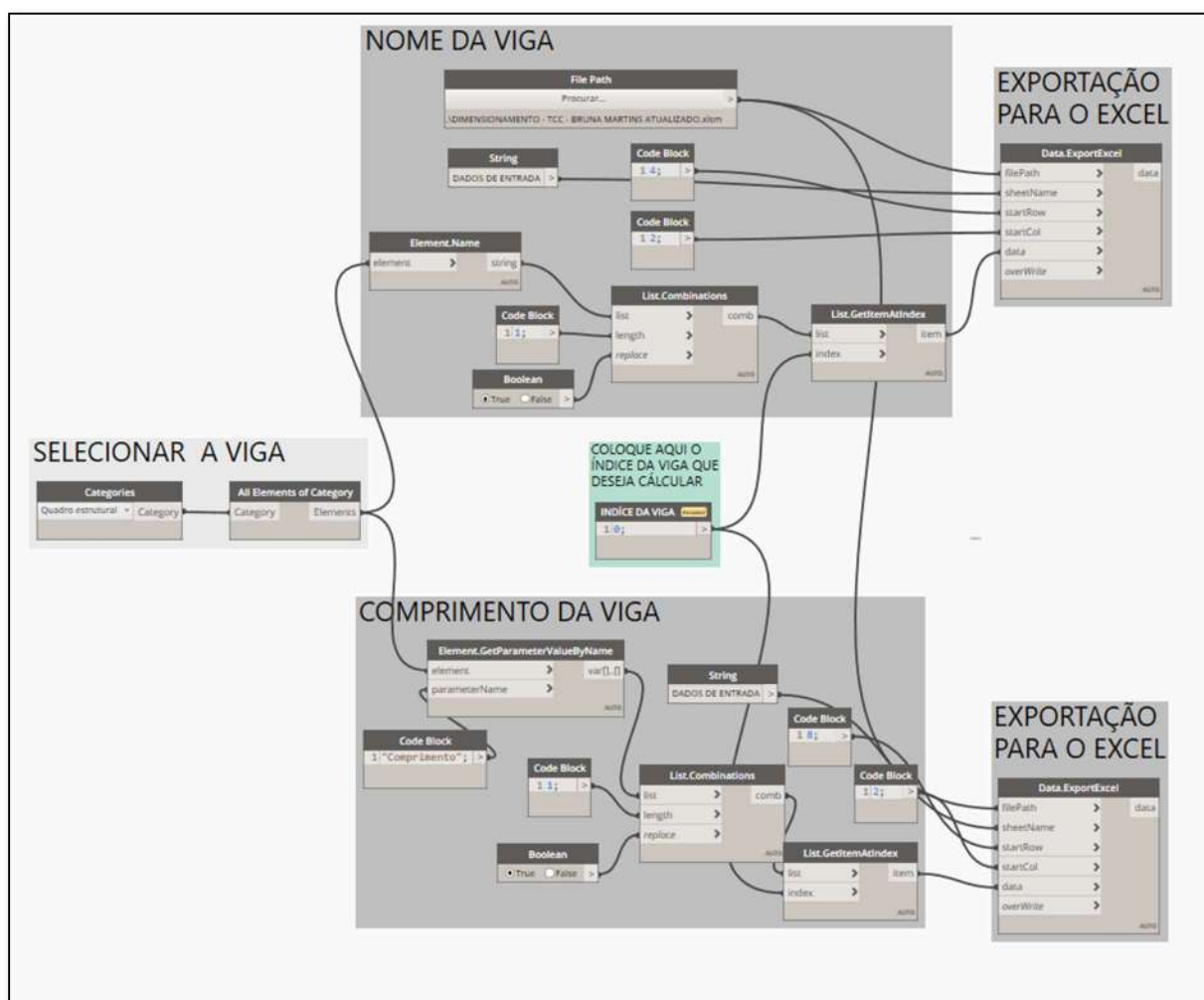
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Quando o usuário desejar finalizar os cálculos basta clicar no botão “finalizar”, que será direcionado para a aba de início e seus dados serão apagados automaticamente. Mas quando desejar apenas realizar um novo cálculo, será direcionado para guia de dados de entrada.

4.2 Rotina de programação: Revit para Excel

Foi elaborada uma rotina no Dynamo com o intuito para a exportação automática do nome e comprimento da viga.

Figura 35 – Rotina Dynamo: Revit para Excel



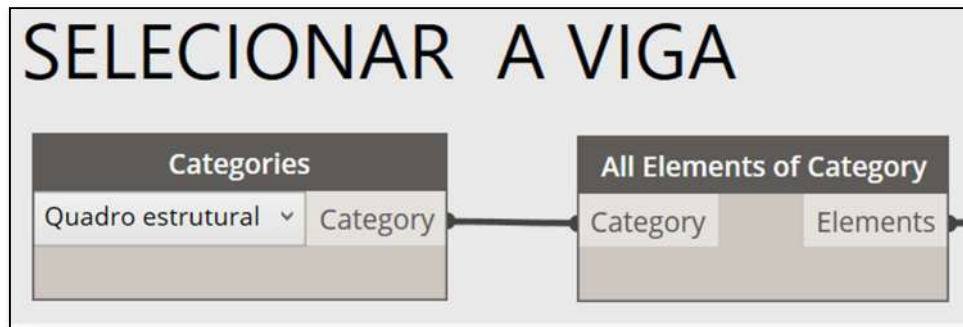
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

A rotina foi dividida nos seguintes procedimentos: seleção da viga, nome da viga, comprimento da viga e exportação o Excel. Será mostrado cada etapa com mais detalhe nos próximos tópicos.

4.2.1 Seleção das vigas

Para a seleção das vigas que estão desenhadas no *Revit*, foram escolhidos os seguintes nós: *Categories* e *All Elements Of Category*.

Figura 36 – Seleção da viga



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

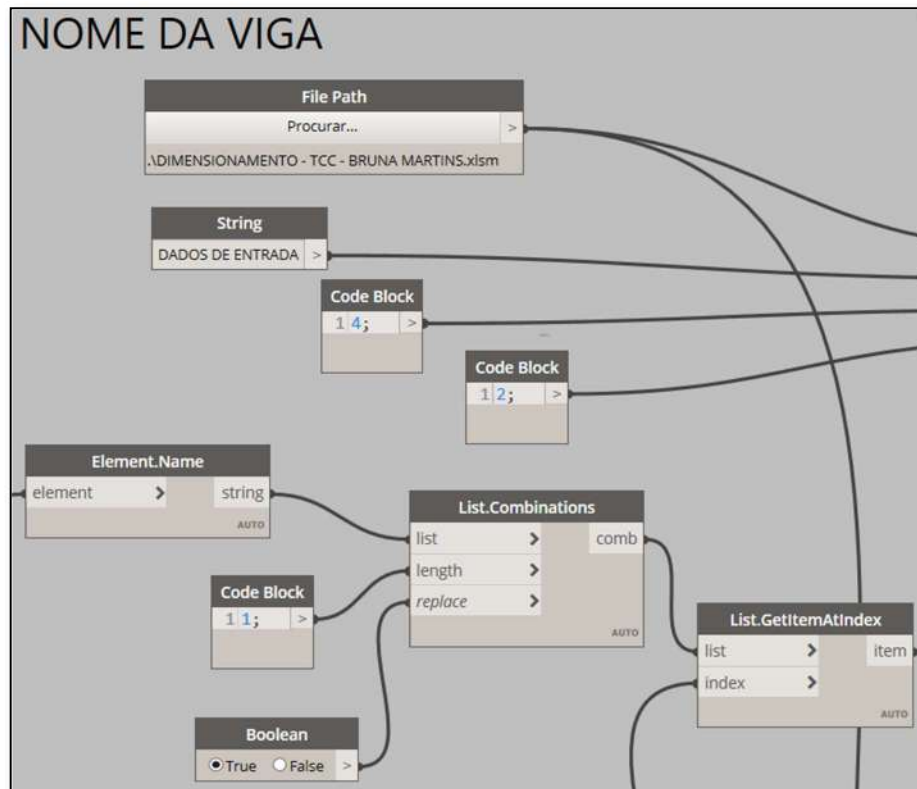
O nó *Categories* permite a seleção de os categoriais presentes no Revit, como o intuito é a seleção da categoria das vigas foi escolhido “Quadro estrutural” que é o nome dado para a categoria das vigas.

Já o nó *All Elements Of Category* tem como objetivo obter todos os elementos da categoria específica presentes no modelo. Com isso todas as vigas presentes no modelo são selecionadas para as próximas interações.

4.2.2 Nome da Viga

Para a obtenção do nome das vigas presente no modelo do Revit, foi preciso os seguintes nós: *Element.Name* e *List.Combinations*. As disposições podem ser vistas na figura 36.

Figura 37 – Nome da viga



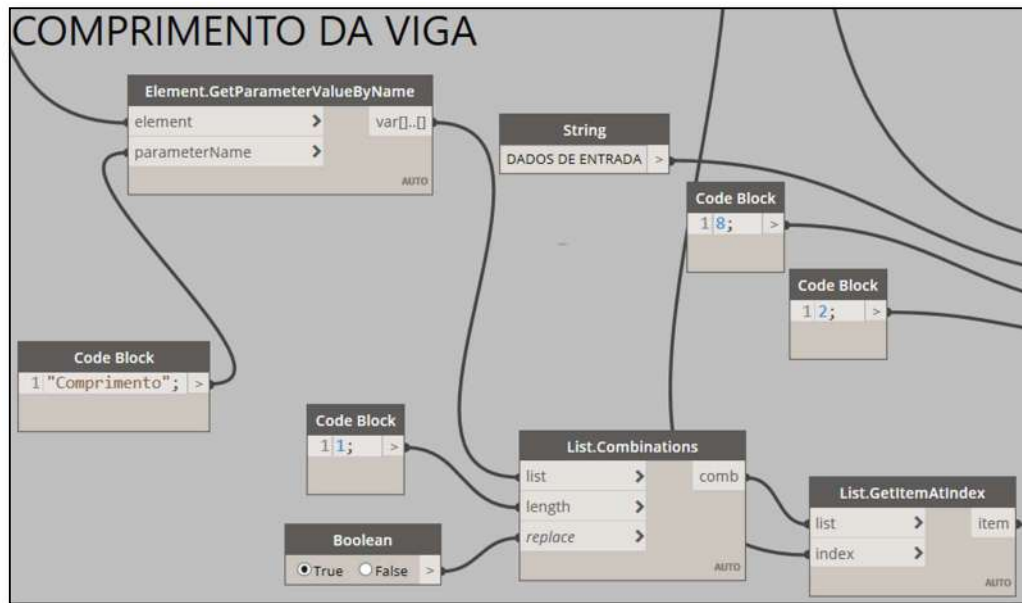
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Com o nó *Element.Name* é possível a obtenção de uma lista com os nomes de cada viga presentes no projeto. Mas como o dimensionamento na planilha é feito uma viga por vez, foi necessário um nó o *List.Combinations* com o objetivo de desmembrar essa lista em outras listas de acordo com o número de vigas, para que seja possível o cálculo na planilha de uma viga por vez.

4.2.3 Comprimento da viga

Para a obtenção do comprimento das vigas presente no modelo do Revit, foi preciso os seguintes nós: *Element.GetParameterValueByName* e *List.Combinations*. As disposições dos nós podem ser vistas na figura 37.

Figura 38 – Comprimento da viga



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Para a obtenção dos valores de comprimento das vigas foi utilizado o nó *Element.GetParameterValueByName* ele tem como objetivo obter valores de acordo com os parâmetros do elemento, nesse caso o comprimento.

O nó *List.Combinations* foi utilizado com o mesmo objetivo para a obtenção do nome das vigas - desmembrar a lista com o valor de comprimento de cada viga presente no projeto em outras listas de acordo com o número de vigas - para que seja possível o cálculo na planilha de uma viga por vez.

4.2.4 Exportação para Excel

Para a exportação do nome e comprimento das vigas presentes no modelo do Revit, foi preciso dos seguintes nós: *File Path*, *String*, *Code Block*, *List.GetItemAtIndex* e *Data.ExportExcel*, como mostra a figura 38.

Figura 39 – Exportação do nome e comprimento da viga para o Excel



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

O nó *File Path* tem como objetivo localizar a planilha que se deseja exportar os dados. O nó *String* foi utilizado com o objetivo de nome a guia da planilha que o dado deve ser colocado. Os *Code Block* utilizados para posicionar os dados na linha e coluna desejada.

O nó *List.GetItemAtIndex* tem como objetivo retornar o item de uma lista em um índice específico, com o auxílio de um *code block* que o usuário deve preencher de acordo com a viga que se deseja dimensionar, como podemos ver na figura 39 a lista que é gerada e figura 40 onde dever ser inserido o número de índice da viga que deseja dimensionar.

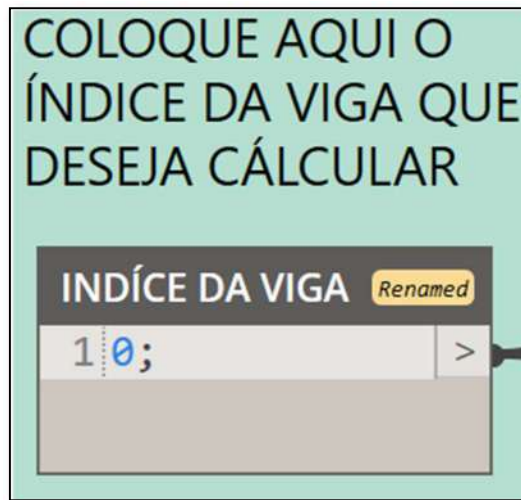
Já o nó *Data.ExportExcel* é o nó responsável por exportar todos os dados derivados dos outros nós apresentados.

Figura 40 - Lista



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Figura 41 – Índice da viga que deseja dimensionar

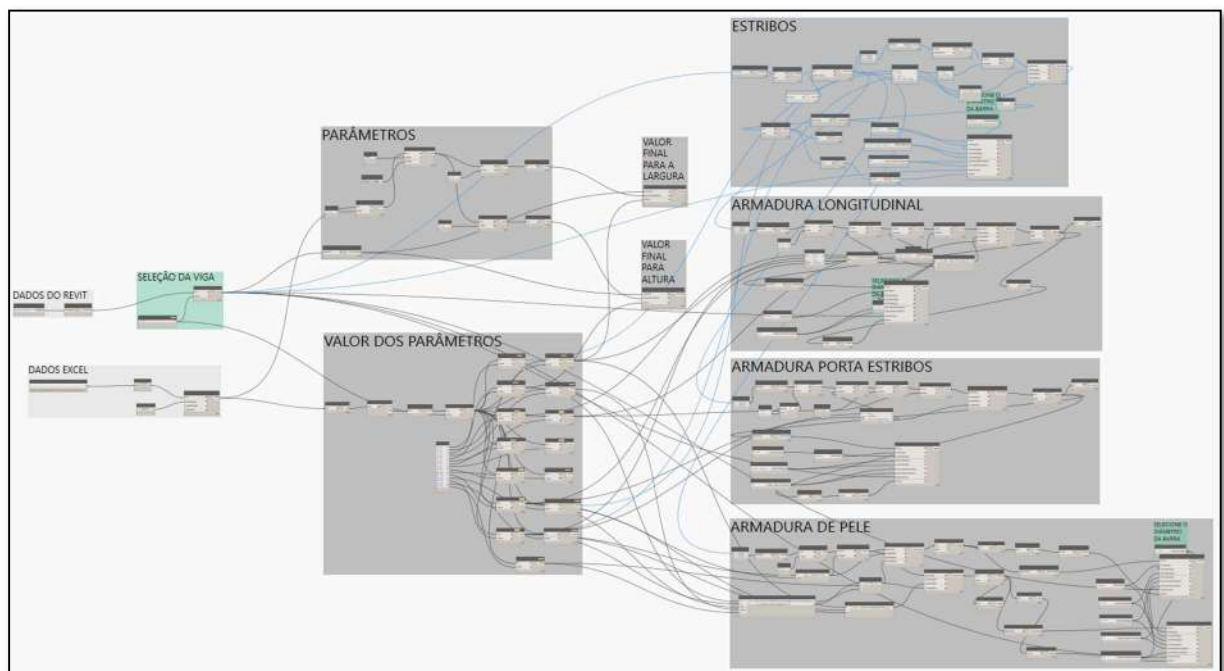


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3 Rotina de programação: Excel para Revit

Foi desenvolvida nesta etapa do trabalho, uma rotina para a exportação dos resultados do Excel para a modelagem automática no Revit.

Figura 42 – Rotina Dynamo: Excel para Revit



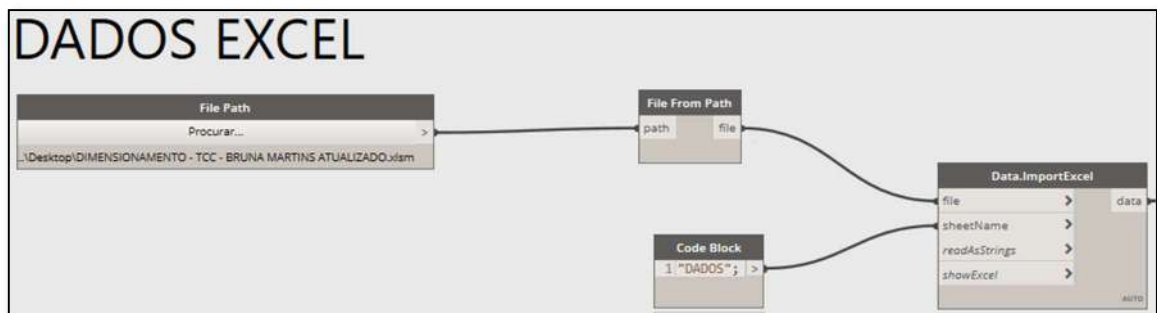
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

A rotina foi dividida nas seguintes etapas: Dados do Excel, Dados do Revit, Seleção da Viga, Parâmetros, Valor dos Parâmetros, Valor final para largura, Valor final para comprimento, Estribos, Armadura longitudinal, Armadura porta estribos, Armadura de pele. Será demonstrado com mais detalhes nos próximos tópicos.

4.3.1 Dados do Excel

Nesta etapa foram escolhidos nós para a seleção do caminho da planilha no computador e para o nome da guia da planilha em que se encontram os dados que se deseja exportar.

Figura 43 – Dados do Excel

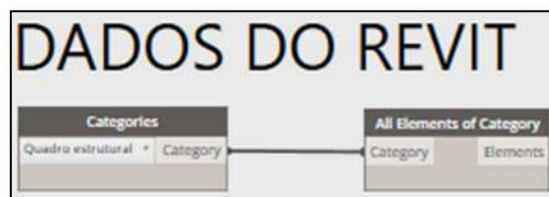


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.2 Dados do Revit

Para a obtenção das vigas no Revit é necessário selecionar a categoria para obter os elementos. Nessa etapa será retornado uma lista de todas as vigas que estão presentes no modelo do Revit.

Figura 44 – Dados do Revit



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.3 Seleção da Viga

Como o modelo do Revit por vezes possui outras vigas, nesta etapa é necessário a seleção da viga que se deseja a exportação dos dados. O número do índice da viga é obtido a partir da lista na etapa dos “Dados do Revit” pelo nó “All Elements of Category”.

Figura 45 – Seleção da Viga



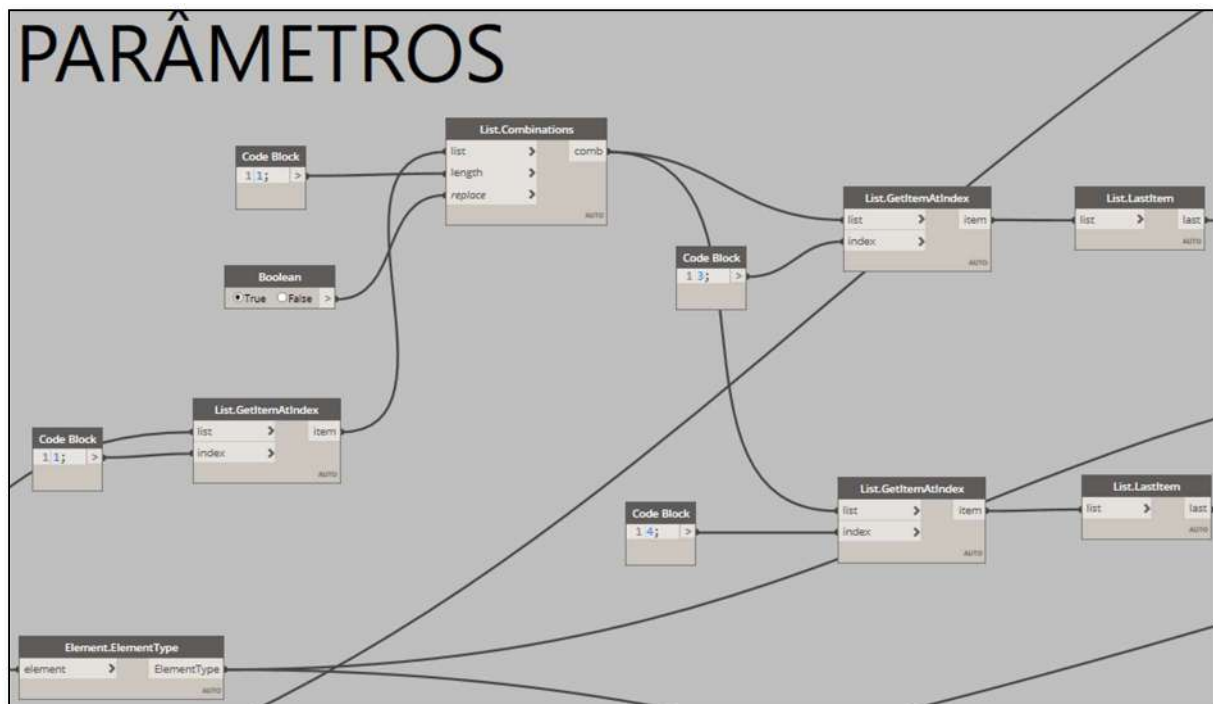
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.4 Parâmetros

Nesta etapa foi necessária a utilização de nós para o tratamento dos dados da lista de parâmetros obtidos a partir do Excel.

Para que seja feita a mudança da largura e altura da viga automática é preciso que o nome do parâmetro da planilha seja o mesmo no Revit.

Figura 46 -Parâmetros



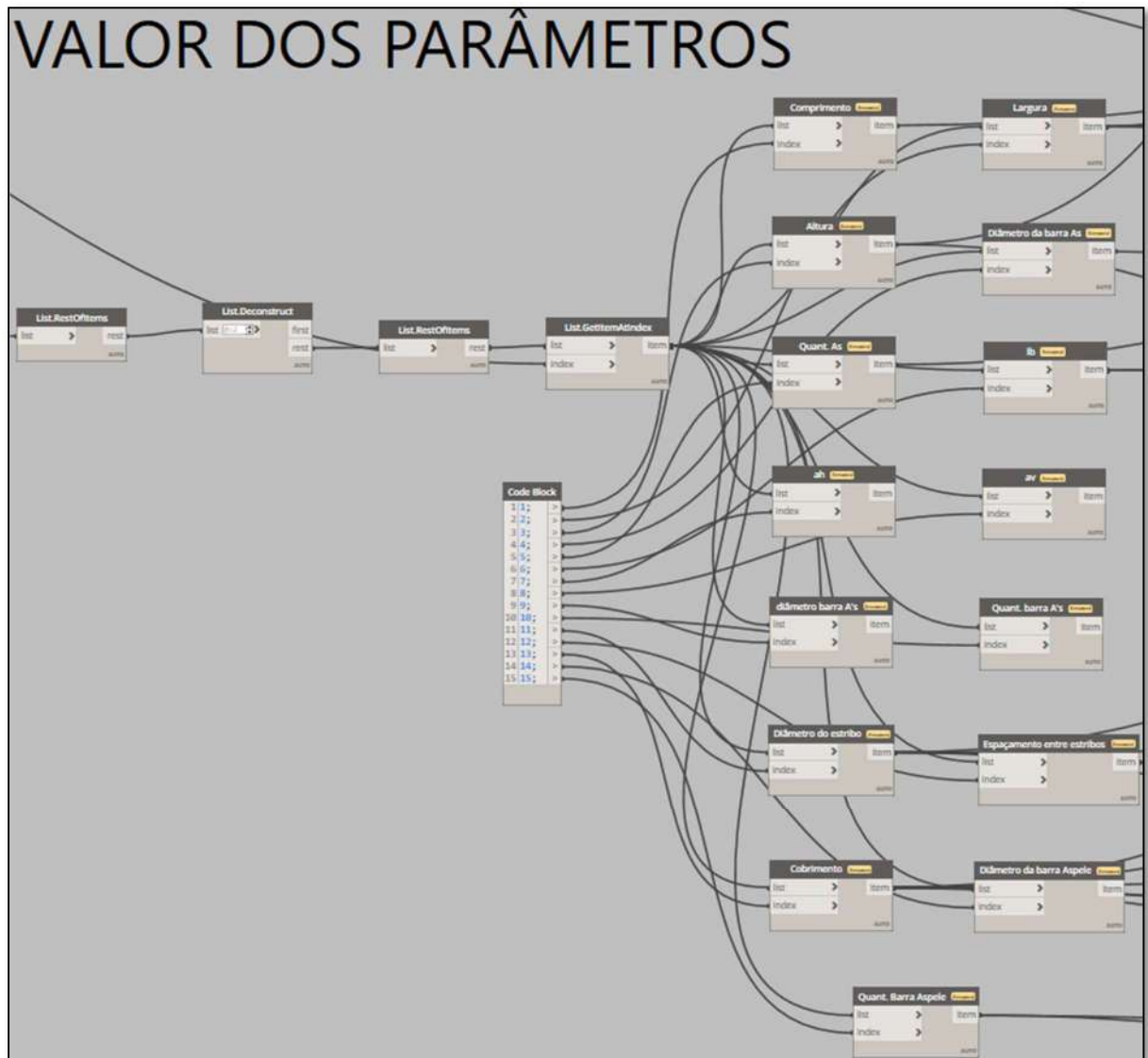
Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.5 Valor Dos Parâmetros

Assim como foi necessário a obtenção dos nomes dos parâmetros, foi necessário esse conjunto de nós para a obtenção dos valores de acordo com os resultados do Excel para a exportação.

Como cada valor é utilizado em etapas diferentes, foi feito a separação dos dados, como é possível observar na figura 46.

Figura 47 – Valor dos Parâmetros

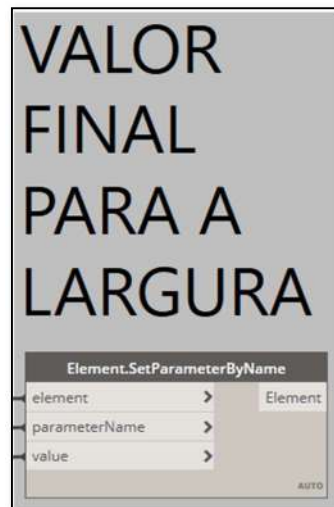


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.6 Valor Final Para Largura e Altura

Com os nomes dos parâmetros e valores obtidos, foi utilizado o nó “*Element.SetParameterByName*” para a interatividade dos dados do Excel com o Revit.

Figura 48 – Valor Final Para Largura



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Figura 49 – Valor Final Para Altura

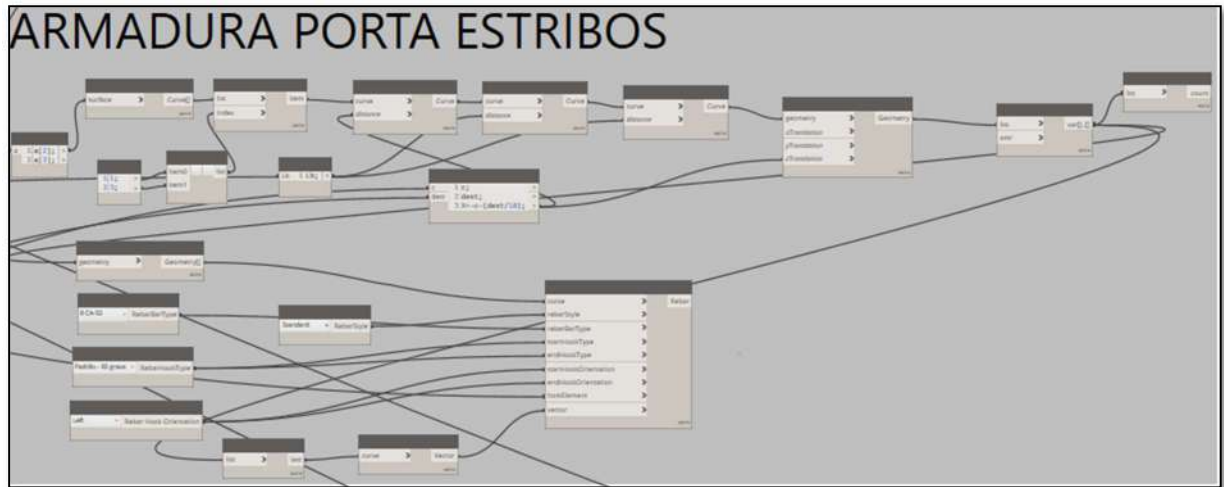


Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

4.3.7 Estribos, Armadura Longitudinal, Porta Estribos e Armadura de Pele

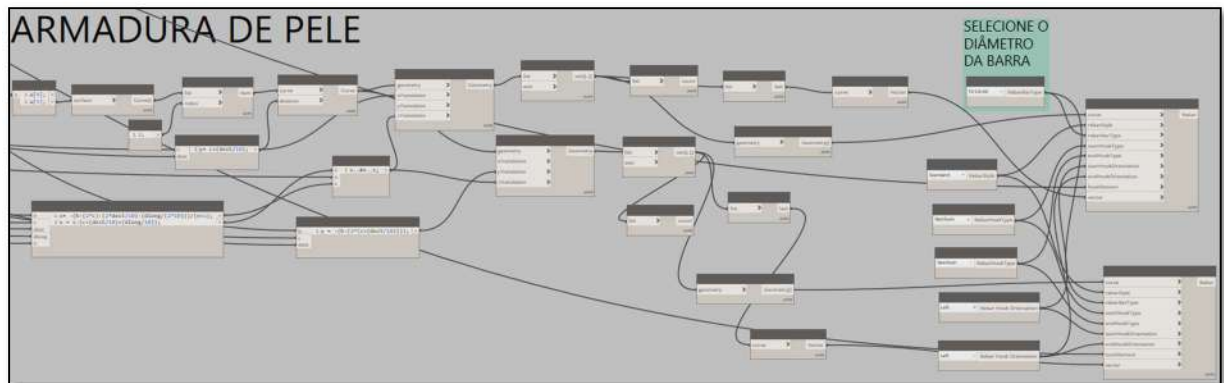
Para as armaduras foram utilizados em resumo os mesmos conjuntos de nós, mudando apenas algumas condições. Podemos ver nas figuras 49, 50, 51 e 52 a disposição dos nós.

Figura 52 – Armadura Porta Estribos



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

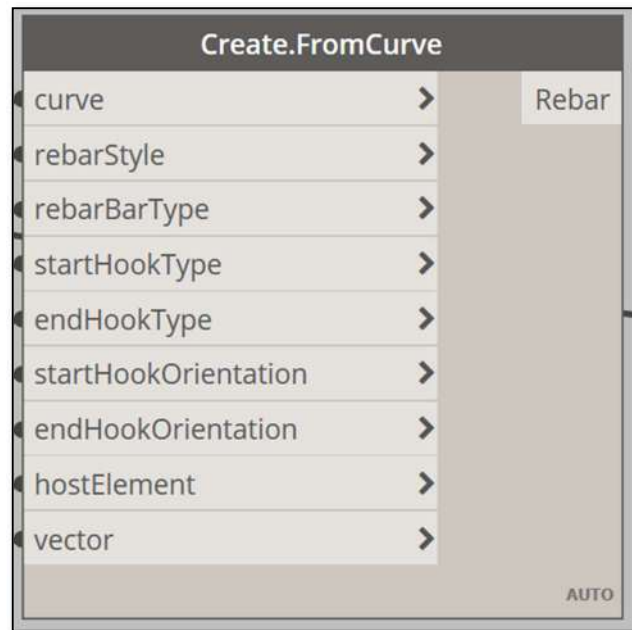
Figura 53 – Armadura de Pele



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Basicamente a interação é feita pelo nó “*Creat.FromCurve*” do pacote Dynamo for Rebar baixado no próprio Dynamo. Nessa etapa o nó não permite a colocação do diâmetro automático da barra, por tanto o usuário deve selecionar manualmente.

Figura 54 – Nó para as armaduras



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

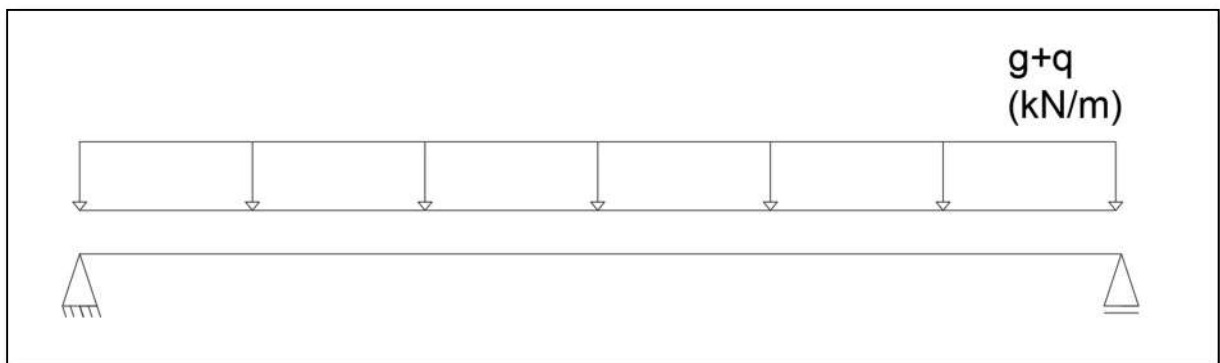
Nessa etapa do trabalho será realizado um exemplo para a demonstração do uso da rotina. Para a validação dos dados da planilha serão realizados os cálculos de forma manual e comparados com os da planilha.

5.1 Exemplo

Dimensionar a viga biapoiada da figura 54, considerando:

- Concreto classe C30;
- Aço classe CA 50;
- Classe de agressividade II;
- Seção 30x65 cm e comprimento 650 cm;
- Altura útil $d = 62$ cm;
- Viga biapoiada.
- Carga permanente $g = 20$ kN/m
- Carga variável $q = 15$ kN/m

Figura 55 - Exemplo



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

5.1.1 1ª Resolução: Manual

- Peso próprio da viga:

$$P_{pv} = 0,30 \times 0,65 \times 25 = 4,875 \text{ kN/m}$$

- Cobrimento = 3 cm de acordo com a classe de agressividade
- Reações:

$$R_{ay} = \frac{(20 + 15 + 4,875) \times 6,5}{2} = 129,59 \text{ kN}$$

$$R_{by} = \frac{(20 + 15 + 4,875) \times 6,5}{2} = 129,59 \text{ kN}$$

- Armadura Longitudinal:

$$Mk = \frac{(20 + 15 + 4,875) \times 6,5^2}{8} = 210,59 \text{ kN.m}$$

$$Md = 210,59 \times 1,4 = 294,83 \text{ kN.m}$$

$$A_s = \frac{294,83 \times 100}{(62 - 0,4 \times (0,45 \times 62)) \times 50/1,15} = 13,34 \text{ cm}^2 \rightarrow 5 \text{ barras } \varnothing 20 \text{ mm}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{100} \times 30 \times 65 = 2,92 \text{ cm}^2$$

$$ah \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \\ 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \\ 1,2 \times 1,9 = 2,28 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow ah = 2,28 \text{ cm}$$

$$av \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \\ 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \\ 0,5 \times 1,9 = 0,95 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow av = 0,95 \text{ cm}$$

Será considerado como porta estribos:

$$A's = 1,01 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ barras } \varnothing 8 \text{ mm}$$

- Armadura Transversal
- $Vk = 129,59 \text{ kN}$
- $V_{sd} = 129,59 \times 1,4 = 181,43 \text{ kN}$

$$VRd2 = 0,27 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) \times \frac{30}{1,4} \times 30 \times 62 = 947,01 \text{ kN}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \times 0,3 \times 30^{2/3}}{1,4} = 1,45 \text{ MPa}$$

$$- V_c = 0,6 \times 1,45/10 \times 30 \times 62 = 161,82 \text{ kN}$$

$$V_{sw} = 181,43 - 161,82 = 19,61 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{19,61}{0,9 \times \frac{50}{1,15} \times 62} = 0,01 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$\frac{A_{sw, \min}}{s} = \frac{0,2 \times 0,3 \times 30^{\frac{2}{3}} \times 30}{50 \times 10} = 0,035 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$\frac{A_{sw, \text{adot}}}{s} = 0,035 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Adotando estribos de 2 ramos e estribos com diâmetro de 6,3 mm:

$$\frac{2 \times 0,31}{s} = 0,035 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$s = 17,71 \rightarrow \emptyset 6,3 \text{ c}/17$$

Espaçamento máximo:

$$0,67 \times 947,01 = 568,21 \text{ kN} \rightarrow Vd \leq VRd2$$

$$S_{\max} \leq \begin{cases} 0,6 \times 62 = 37,2 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow S_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo entre ramos:

$$0,2 \times 947,01 = 189,40 \rightarrow Vd \leq VRd2$$

$$S_{t, \max} \leq \begin{cases} 62 \text{ cm} \\ 80 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow S_{t, \max} = 62 \text{ cm}$$

- Armadura de Pele

$$- A_s = 0,10\%(30 \times 65) = 1,95 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ barras } \emptyset 12,5 \text{ mm}$$

- Ancoragem

$$f_{bd} = 2,5 \times 1 \times 1 \times \frac{0,21 \times 30^{2/3}}{1,4} = 3,62 \text{ MPa}$$

$$l_b = \frac{20 \times 500/1,15}{4 \times 3,62} = 600,53 \text{ mm} = 60,05 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 \times 60,05 = 18,01 \text{ cm} \\ 10 \times 2 = 20 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow 20 \text{ cm}$$

$$l_{b,nec} = 1 \times 60,05 \times 1 = 60,05$$

$$l_{b,nec} > l_{b,min} \rightarrow OK!$$

Número de barras por camada:

$$n = \frac{30 - 2 \times 3 - 2 \times 0,63 + 2,28}{2 + 2,28} = 6 \text{ barras}$$

Barras no apoio

$$A_{s,apoi} = \frac{3,14 \times 5}{3} = 5,23 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ barras } \varnothing 20 \text{ mm}$$

- Verificações:

- Instabilidade Lateral

$$b \geq \frac{650}{50} \rightarrow b \geq 13 \rightarrow OK!$$

$$b \geq 0,4 \times 65 \rightarrow OK!$$

- Fissuração

-

$$M_r = \frac{1,5 \times 0,3 \times 30^{2/3} \times 1000 \times (0,30 \times 0,65^3) / 12}{0,65/2} = 91,78 \text{ kN.m}$$

$$M_r < M_{at} \rightarrow \text{Estadio II, há fissura}$$

$$\alpha_e = \frac{210000}{(0,8 + 0,2 \times (\frac{30}{80})) \times 5600 \sqrt{30}} = 7,82$$

$$XII = \frac{-7,82 \times 3,14 \times 5 \pm \sqrt{(7,82 \times 3,14 \times 5)^2 - 4 \times (\frac{30}{2}) \times (-62 \times 7,82 \times 3,14 \times 5)}}{2 \times 30/2} = 18,80 \text{ cm}$$

- $I_{XII} = \frac{30 \times 18,80^3}{3} + 7,82 \times 3,14 \times 5 \times (18,80 - 62)^2 = 295572,47 \text{ cm}^4 = 0,003 \text{ m}^4$
- $Y_{si} = 62 - 18,80 = 43,20 \text{ cm}$
- $M_{at(comb,f)} = \frac{(20+4,875) \times 6,5^2}{8} + \frac{15 \times 6,5^2}{8} \times 0,4 = 163,059 \text{ kN.m}$
- $\sigma_{si} = \frac{\frac{163,059}{0,003} \times 0,4320 \times 7,82}{1000} = 183,62 \text{ MPa}$
- $A_{cri} = 30 \times (8 \times 2 + 0,63 + 3) = 588,9 \text{ cm}^2$
- $\rho_{cri} = \frac{3,14 \times 5}{588,9} = 0,027$

$$w_k = \frac{20}{12,5 \times 2,5} \times \frac{183,62}{210000} \times \frac{3 \times 183,62}{0,3 \times 30^{2/3}} = 0,11 \rightarrow OK!$$

$$w_k = \frac{20}{12,5 \times 2,5} \times \frac{183,62}{210000} \times \left(\frac{4}{0,027} + 45 \right) = 0,11 \rightarrow OK!$$

- Flechas

$$Ilg = \frac{30 \times 65^3}{12} = 686562,5 \text{ m}^2$$

$$Mr = 91,78 \text{ kN.m}$$

$$I_{XII} = 0,003 \text{ m}^4$$

Tabela 6 – Cálculo das flechas

Combinações	P(kN/m)	Mat (kN.m)	Mr/Mat	Im	p/Im	Ecs (Mpa)	a (cm)
Permanente	20	105,62	0,869	0,0055	3636,36	26838,40	0,314
Q. Permanente	24,5	129,39	0,709	0,0043	5697,67	26838,40	0,493
Rara	35	184,84	0,496	0,0034	10294,12	26838,70	0,891

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

$$aq = 0,891 - 0,314 = 0,577 \text{ cm}$$

$$aq < \frac{650}{350} \rightarrow OK!$$

- Efeito da Fluência

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

$$\xi(t_0) = 0,68 \times 0,996^{0,47} \times 0,47^{0,32} = 0,53$$

$$\xi(\infty) = 2$$

$$af = \frac{2 - 0,53}{1 + 50 \times 0} = 1,47 \text{ cm}$$

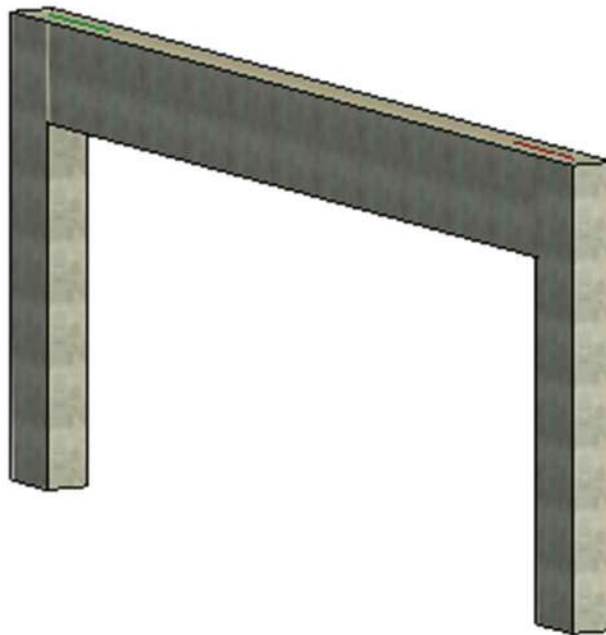
$$a_{tot} = 0,493 \times (1 + 1,47) = 1,22 \text{ cm}$$

$$a_{tot\infty} < \frac{650}{250} \rightarrow OK!$$

5.1.2 2ª Resolução: Rotina computacional

Primeiramente foi feita a representação da viga no Revit:

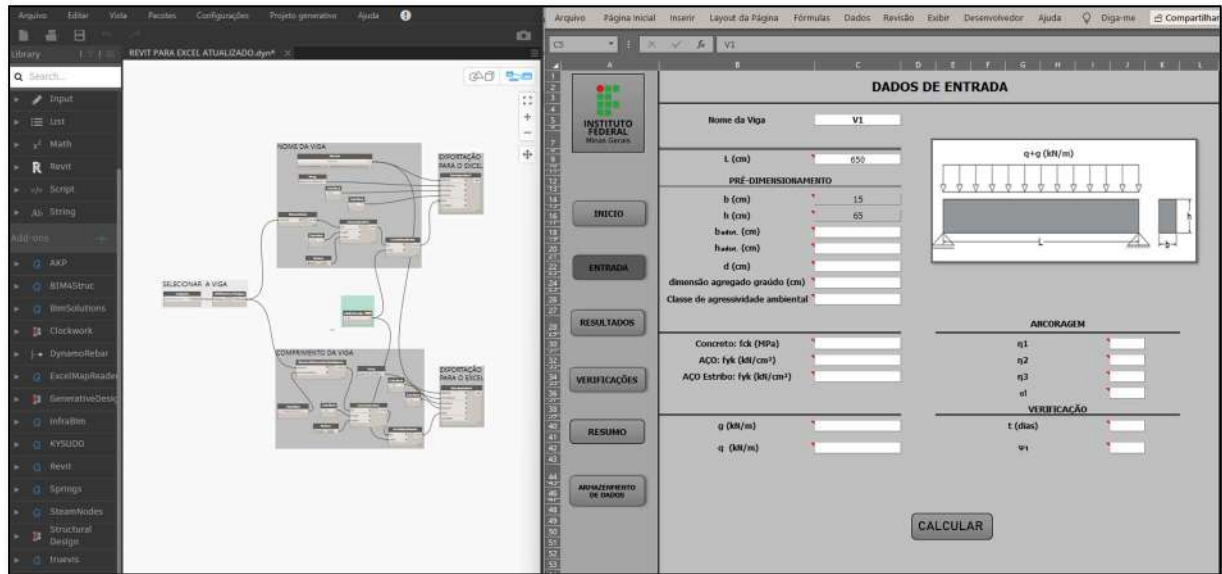
Figura 56 – Viga exemplo



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Em seguida foi aplicada a primeira rotina do Dynamo que consiste em exportar para o Excel automaticamente o nome e comprimento da viga, conforme Figura 56:

Figura 57 – Revit para Excel



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Então foram preenchidos todos os dados de entrada necessários para o dimensionamento.

Figura 58 – Dados de entrada

DADOS DE ENTRADA	
Nome da Viga	V1
L (cm)	650
PRÉ-DIMENSIONAMENTO	
b (cm)	15
h (cm)	65
b _{dot} (cm)	30
h _{dot} (cm)	65
d (cm)	62
dimensão agregado graúdo (cm)	1,9
Classe de agressividade ambiental	CAII
MATERIAIS	
Concreto: fck (MPa)	30
AÇO: fyk (kN/cm ²)	50
AÇO Estribo: fyk (kN/cm ²)	50
CARGAS	
g (kN/m)	20
q (kN/m)	15
ANCORAGEM	
η1	2,5
η2	1
η3	1
α1	1
VERIFICAÇÃO	
t (dias)	14
ψ1	0,4

CALCULAR

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.


Com os dados de entrada preenchidos foi feito o dimensionamento, e visto que as verificações foram atendidas, conforme as Figuras 58 e 59.

Figura 59 - Resultados

RESULTADOS			
PPv	4,88	kN/m	
c	3	cm	
Reações			
Ra	129,59	kN	
Rb	129,59	kN	
Armadura Longitudinal			
Mk	210,59	kN.m	
Md	294,83	kN.m	
As	13,34	cm ²	
Asmín	2,925	cm ²	
Barra (ø)	20	mm	
Quant. Barras	5	unid.	
ah	2,28	cm	
av	2	cm	
A's	1,01	cm ²	
Barra (ø)	8	mm	
Quant. Barras	2	unid.	
Armadura transversal			
Vsk	129,59	kN	
Vsd	181,43	kN	
fct,m	2,90	MPa	
Asw mín/s	0,03	cm ² /cm	
VRd2	947,01	kN	
fctd	1,45	MPa	
Vc	161,62	kN	
Vsw	19,81	kN	
Asw/s	0,01	cm ² /cm	
Barra (ø)	6,3	mm	
S	17	cm	
Smáx	30	cm	
Smáx, ramos	62	cm	
Armadura de Pele			
Aspele	1,95	cm ²	
Barra (ø)	12,5	mm	
Quantidade	2	unid.	
Ancoragem			
fbd (Mpa)	3,62	MPa	
lb (cm)	60,04	cm	
Lb,nec (cm)	60,04	cm	
lb,min (cm)	20,00	cm	
n	6	unid.	
barras no apoio	5,24	cm ²	
Quant. Barras	2	unid.	

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Figura 60 - Verificações



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais

INICIO

ENTRADA

RESULTADOS

VERIFICAÇÕES

RESUMO

ARMAZENAMENTO DE DADOS

VERIFICAÇÕES

Cond. Para armadura simples
d > d_{mín.} OK

Verificação da Área de aço
As > As_{mín} OK

Verificação a biela
V_{sd} ≤ V_{Rd2} OK

Armadura de pele
Utilização de Armd. De Pele SIM

Diametro do estribo
5mm ≤ Ø ≤ b/10 OK

Instabilidade Lateral
b ≥ l/50 OK

b ≥ β_{fl} h OK

Verificação de ancoragem

L_{b,nec} > l_{b,min} OK

Verificação de fissuração

Mr (kN.m) 91,78183 Mat (kN.m) 210,59 Mat < Mr NÃO OK ESTADIO II, HÁ FISSURA

ESTÁDIO II

ae	7,825	XII (cm)	18,812	IxII (m ⁴)	0,0030	Ysi (cm)	43,188
Mat (kN.m)	163,059	osi (Mpa)	186,268	Acric (cm ²)	588,9	pcric	0,027
w	0,111	Verif.	OK	w	0,110	Verif.	OK

Verificação de Flechas

I _{lg} (cm ⁴)	686562,5	Mr (kN.m)	91,781835	Mat (kN.m)	163,059	IxII (m ⁴)	0,002958
------------------------------------	----------	-----------	-----------	------------	---------	------------------------	----------

Combinações	p (kN/m)	Mat (kN.m)	Mr/Mat	Im	p/Im	Ecs (Mpa)	a (cm)
Permanente	20	105,625	0,8689404	0,005521874	3621,96	26838,40532	0,313674
Q.	24,5	129,390625	0,7093391	0,004352832	5628,52	26838,40532	0,487449
Permanente Rara	35	184,84375	0,4965374	0,003436583	10184,53	26838,40532	0,882016
aq	0,568	aq < alim	OK				

Efeito da Fluência - Considerando CQP

t0 (meses)	0,47	ξ(t0)	0,5318373	ξ(∞)	2	af	1,468163
p'	0	atot.∞	1,2031047	atot.∞ < alim	OK	acf	1,857143
atot.∞	1,203105	atot.∞ < alim	OK				

RESUMO

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Figura 61 – Resumo dos resultados



RESUMO DOS RESULTADOS

Nome	l (cm)	b (cm)	h (cm)	Ølong	Quant.Barra	Lb (cm)	ah (cm)	av (cm)	Ølong, A's	quant.	Øtransv.	S (cm)	c (cm)	Øpele	Quant.Barra
V1	650	30	65	20	5	60,04	2,28	2	8,00	2	6,30	17	3	12,5	2

INICIO

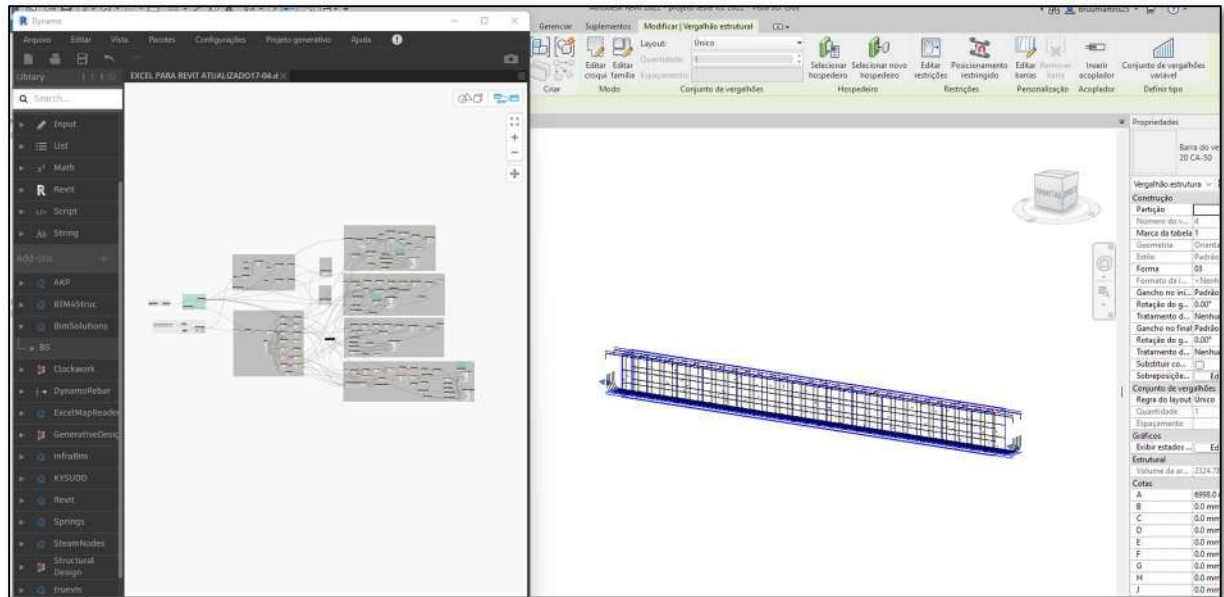
←

ARMAZENAR

Fonte: Arquivo Próprio, 2022

Com todos os resultados foi utilizado a rotina para a exportação dos dados do Excel para o Revit.

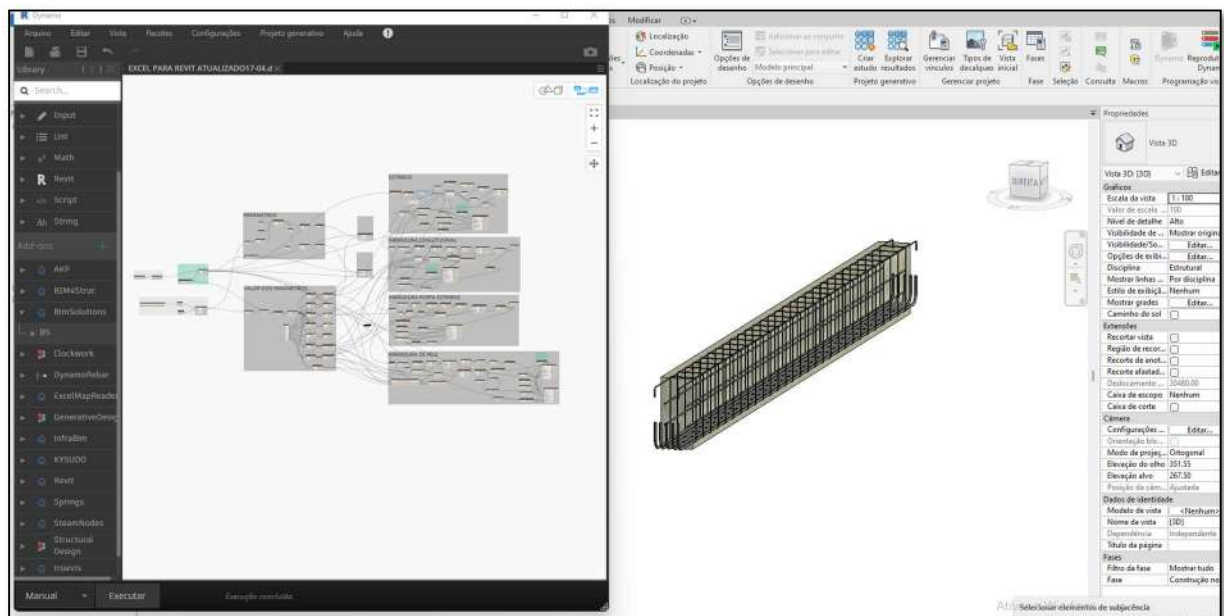
Figura 62 – Exportação dos resultados para Revit



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Mudando a visibilidade para realista para uma melhor visualização:

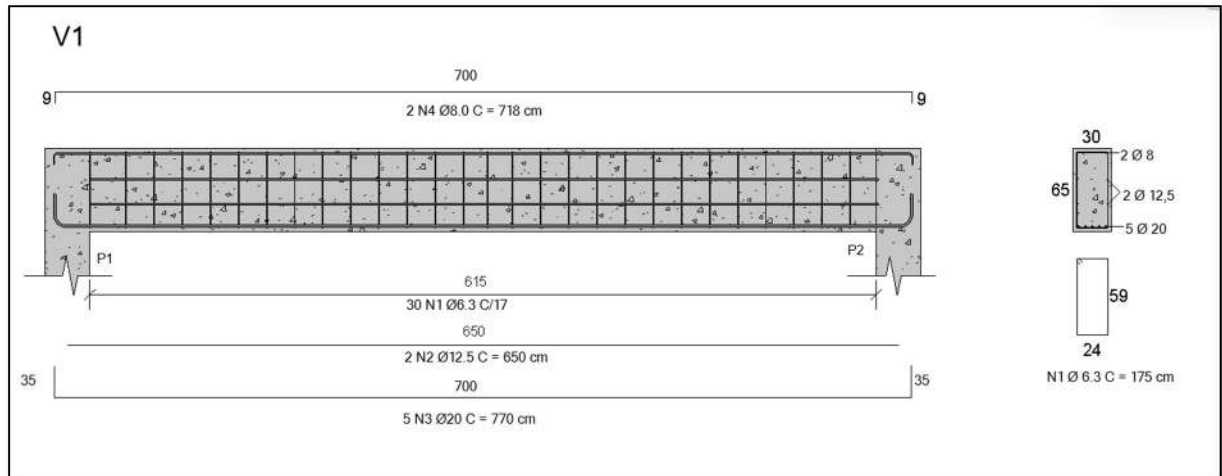
Figura 63 – Visualização da Viga no Revit



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Com a modelagem das armaduras e a exportação de todos os resultados para o Revit, é possível fazer o detalhamento das armaduras.

Figura 64 – Detalhamento



Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, conclui-se que a rotina computacional para o dimensionamento de vigas biapoiadas com a interação automatizada com o Excel e Revit por meio do Dynamo, foi desenvolvida com sucesso. Mesmo que ainda se tenham algumas limitações como a inserção das armaduras longitudinais automáticas com mais de uma camada, algumas informações são adicionadas automaticamente e alguns ajustes ainda precisam ser realizados manualmente.

Já que o *Excel* é uma ferramenta de cálculo muito utilizada na engenharia civil para dimensionamento e conferência de resultados obtidos em outros *softwares*, é importante ressaltar que esse tipo de rotina também pode ser desenvolvido em outras disciplinas como elétrica e hidráulica.

É importante destacar que a rotina não substitui um profissional habilitado para a análise dos resultados. Ao usar a planilha é necessário que se tenha conhecimento prévio dos *softwares* utilizados para a rotina, bem como o domínio dos parâmetros normativos envolvidos no cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado.

Portanto o trabalho conseguiu alcançar os objetivos de desenvolver uma rotina computacional para o dimensionamento de vigas biapoiadas em concreto armado, para demonstrar a aplicação da ferramenta BIM e a interação automatizada com a Microsoft Excel, com isso comprovando a importância da integração do BIM na automação dos cálculos.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Dimensionamento para todos os tipos de vigas retangulares em concreto armado, utilizando a interação entre os Excel e o Revit;
- Desenvolver rotinas utilizando softwares livres para planilhas eletrônicas;
- Rotina no Dynamo para automatizar o detalhamento das armaduras no Revit;
- Dimensionamento para outros elementos de concreto armado utilizando a interação entre os Excel e o Revit;
- Melhoria das rotinas no Dynamo para obter maior automatização.
- Dimensionamento de elementos em outras disciplinas da engenharia civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Apostila – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 3. ed, Porto Alegre: Dunas, 2010. v. 1, 295 p.

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

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

BARBOSA, M. D. A. **Análise de flechas em vigas de concreto armado**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do Concreto Armado**. Universidade Estadual Paulista, 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Vigas de Concreto Armado**. Universidade Estadual Paulista, 2017.

CARVALHO R. C; RODRIGUES, J. F. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos, 2014.

CUNHA, Danilo J. Evangelista. **Análise de Fissuração em Vigas de Concreto Armado**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

EASTMAN, Charles M. et al. **Manual de BIM- um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1.ed. [S.I]: Bookman, 2014.

FARIA, Francisco. **Ferramenta para integração de resultados de ensaios de controlo de qualidade de materiais em modelos BIM**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.

FUSCO, P.B. **Estruturas de Concreto - Fundamentos do Projeto Estrutural**. São Paulo, Ed. USP e McGraw-Hill, 1976.

KIMURA, Alio. **Informática Aplicada a Estruturas de Concreto Armado**. 2. ed. ampl. e atual - São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

Lino, José Carlos; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. **Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas**. Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL, 2012.

LOPES, Flavio Alexandre Pereira. **Desenvolvimento De Um Projeto De Estrutura De Um Edifício Com Recurso Ao Bim**. Universidade do Algarve, 2018.

JEZYK, Matt e team, Dynamo Development. **The Dynamo Primer V2.0**. Autodesk, 2019.

NETO, Claudia. Autodesk REVIT Architecture 2018: Conceitos básicos. 1ª edição. São Paulo: Saraiva, 2018.

PINHEIRO, Libânio. MUZARDO, Cassiane. SANTOS, Sandro. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. Universidade de São Paulo, 2007.

PINTO, Ricardo Filipe Freitas. **Aplicação da Metodologia BIM ao Projeto de Pontes - Caso Prático**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016.

PONTES, Thayna. **Uso da plataforma bim em projeto de estruturas de concreto armado**. Universidade Santa Cecília, 2019.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado: conforme NBR 6118/2014**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, José Sérgio. **Desconstruindo o Projeto Estrutural de Edifícios: Concreto Armado e Protendido**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2017.

SILVA, João Pedro. **Incorporação das Armaduras No Projeto de Estruturas em BIM**. Universidade da Coimbra, 2019.

SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3ª. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TAREFAS BÁSICAS NO EXCEL. **Microsoft**. Suporte. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/tarefas-b%C3%AAsicas-no-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca#:~:text=O%20Excel%20%C3%A9%20uma%20ferramenta,%C3%A9%20a%20grade%20de%20c%C3%A9lulas>. Acesso em: 15/01/2022.