

A programação em Dynamo aplicada ao desenvolvimento de projetos sustentáveis de engenharia via metodologia BIM

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.018-078>

Kevin Maurício Guedes Silva

Graduação mais alta e área (apenas uma graduação):
Mestrando em Engenharia Civil/Estruturas.
Instituição atual: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: ke.mgs@outlook.com

Natália Victória dos Santos

Graduação mais alta e área (apenas uma graduação):
Doutoranda em Engenharia Civil/Estruturas
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: nataliasvictoria@gmail.com

Glauco José de Oliveira Rodrigues

Graduação mais alta e área (apenas uma graduação):
Doutor em Engenharia Civil/Estruturas
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: glauco.grengenharia@gmail.com

Danielle Malvaris Ribeiro

Graduação mais alta e área (apenas uma graduação):
Doutoranda em Engenharia Civil/Estruturas
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: daniellemr.ieeca@gmail.com

RESUMO

No contexto do concreto armado, um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais de execução é a correta interpretação e compreensão de projetos estruturais. A falta de entendimento adequado desses desenhos técnicos pode levar a uma série de problemas, tais como: erros de montagem, falta de conformidade com as normas técnicas vigentes e até mesmo comprometimento da segurança estrutural da edificação. Por outro lado, os engenheiros e projetistas enfrentam seus próprios desafios, especialmente no que diz respeito ao tempo necessário para a elaboração dos desenhos. A pressão por prazos apertados muitas vezes resulta em projetos elaborados às pressas, o que pode levar a erros de projeto significativos. Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma solução inovadora: o desenvolvimento de um conjunto de scripts com a utilização do software Dynamo voltados para atividades de engenharia estrutural. Esses scripts têm como objetivo principal agilizar o processo de projeto desde a concepção até o detalhamento. Ao automatizar tarefas repetitivas e propensas a erros, os scripts não apenas reduzem o tempo necessário para a elaboração dos desenhos, mas também melhoram significativamente a qualidade final dos projetos de fôrma e armadura.

Palavras-chave: BIM, Dynamo, Revit, Concreto Armado, Detalhamento.



1 INTRODUÇÃO

A indústria da engenharia tem testemunhado mudanças significativas, impulsionadas pela implementação de novas tecnologias em seus processos. Uma dessas transformações marcantes foi a introdução do Projeto Auxiliado por Computador (Computer-Aided Design - CAD). Antes do seu advento, projetos de engenharia eram elaborados manualmente, demandando um considerável investimento de tempo e esforço. Com a incorporação do CAD, engenheiros e arquitetos ganharam acesso a um conjunto diversificado de ferramentas digitais, possibilitando a criação, modificação e otimização de projetos de forma mais rápida e precisa. [1]

Uma nova revolução na engenharia vem ocorrendo, protagonizada pela Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling - BIM). O BIM, em sua essência, consiste na criação de um modelo virtual inteligente e multidisciplinar de um projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida (Eastman et al., 2014). Uma das principais vantagens do BIM reside em sua capacidade de facilitar a colaboração e a troca de informações entre os diversos intervenientes no processo de construção. Ao contrário das abordagens tradicionais, nas quais diferentes profissionais trabalhavam de forma isolada com seus desenhos 2D ou modelos 3D, o BIM cria uma plataforma compartilhada na qual arquitetos, engenheiros estruturais, engenheiros MEP (Mecânica, Elétrica, Hidráulica) e outros participantes podem contribuir para um único modelo abrangente.

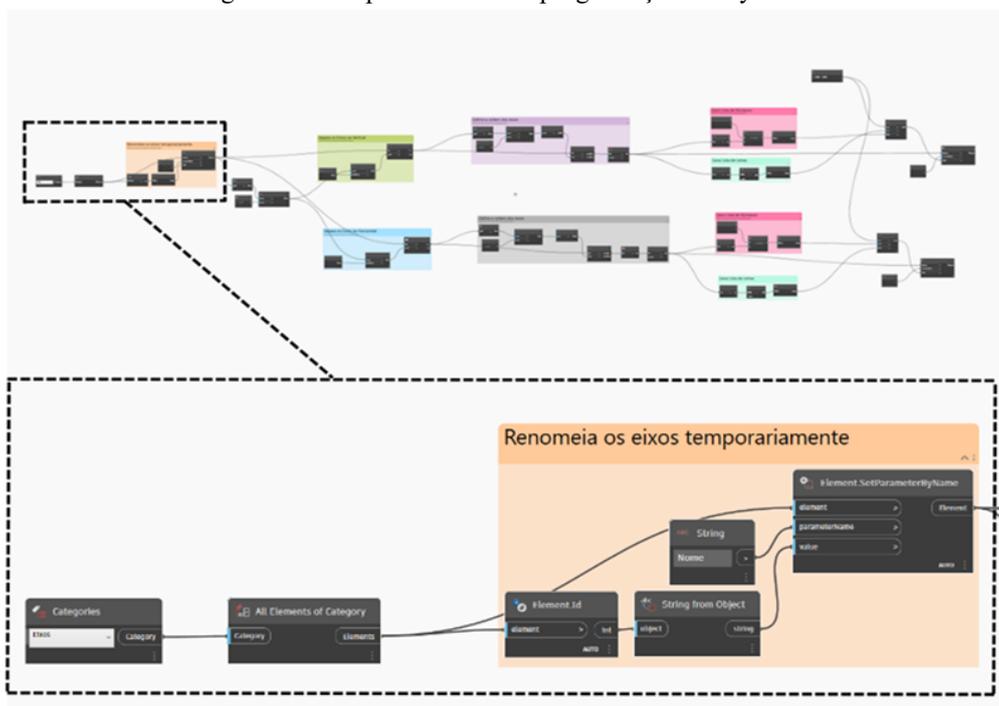
A natureza multidisciplinar do BIM possibilita a detecção e resolução de conflitos durante a fase de projeto, reduzindo a probabilidade de erros e conflitos durante a construção. Além disso, o BIM fornece uma quantidade de dados que vai além da representação geométrica, incluindo especificações de materiais, estimativas de custos e cronogramas de construção. Essas informações são inestimáveis para a gestão de projetos, auxiliando as equipes a tomarem decisões informadas e otimizarem a alocação de recursos [2].

Inconsistências, imprecisões e incertezas no projeto dificultam a fabricação dos materiais fora do canteiro [2]. Frequentemente, é durante a fase de construção que tais erros são detectados, resultando em mudanças repentinas no projeto para se adequar ao campo e os consequentes gastos oriundos desses erros. Essa necessidade de ajustes repentinos destaca a importância de aprimorar a precisão desde a concepção do projeto, a fim de reduzir a ocorrência de modificações repentinas e economizar tempo e esforço durante a execução. Portanto, a busca por soluções que otimizem o processo de concepção e elaboração de desenhos, como o uso de ferramentas de automação, torna-se essencial para garantir a eficácia e a qualidade do trabalho dos engenheiros e projetistas.

A utilização do BIM pode ser amplamente potencializada com o auxílio de programação no software Dynamo, uma ferramenta de programação visual presente nos softwares da Autodesk. O Dynamo possui uma interface visual, o que significa que os usuários criam scripts através de uma representação gráfica, conectando blocos de funções em uma lógica de fluxograma. Isso torna a

programação mais acessível para aqueles que podem não ter experiência em codificação tradicional. Ao utilizar programações em Dynamo, é possível agilizar a modelagem dos elementos e automatizar tarefas repetitivas e suscetíveis a erros humanos. Essa automatização agiliza o processo de projeto, permitindo que os profissionais se concentrem em atividades mais complexas e de maior valor agregado.

Figura 1: Exemplo de rotina de programação no Dynamo



Fonte: o autor.

O Dynamo funciona manipulando e tratando os parâmetros (ou informações) dos elementos no Revit. Os parâmetros no Revit desempenham um papel fundamental na definição e controle das propriedades dos elementos de um modelo. A correta definição dos parâmetros no Revit é de extrema importância na garantia da interoperabilidade do modelo. A interoperabilidade refere-se à capacidade de trocar informações de maneira eficiente e precisa entre diferentes softwares e disciplinas envolvidas em um projeto de construção. Nos itens a seguir serão explicadas as lógicas utilizadas nas rotinas.

Dessa forma, esse artigo tem por objetivo a automatização de projetos estruturais utilizando a tecnologia BIM. Para isso, através do software Dynamo foram desenvolvidas rotinas a fim de agilizar o processo de projeto desde a sua concepção até a fase de detalhamento.

2 DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS

Os scripts Dynamo foram concebidos considerando o fluxo de trabalho de um projeto, desde a definição dos eixos estruturais até o lançamento de pilares, seguido por vigas, lajes e fundações. Posteriormente, foi desenvolvido um script de pré-dimensionamento das vigas. Além disso, foram

elaboradas rotinas visando à documentação do projeto, como a numeração dos elementos e a geração de plantas e vistas. Na figura 2 é exemplificado o fluxo de trabalho desenvolvido.

Figura 2: Fluxograma de produção dos scripts.



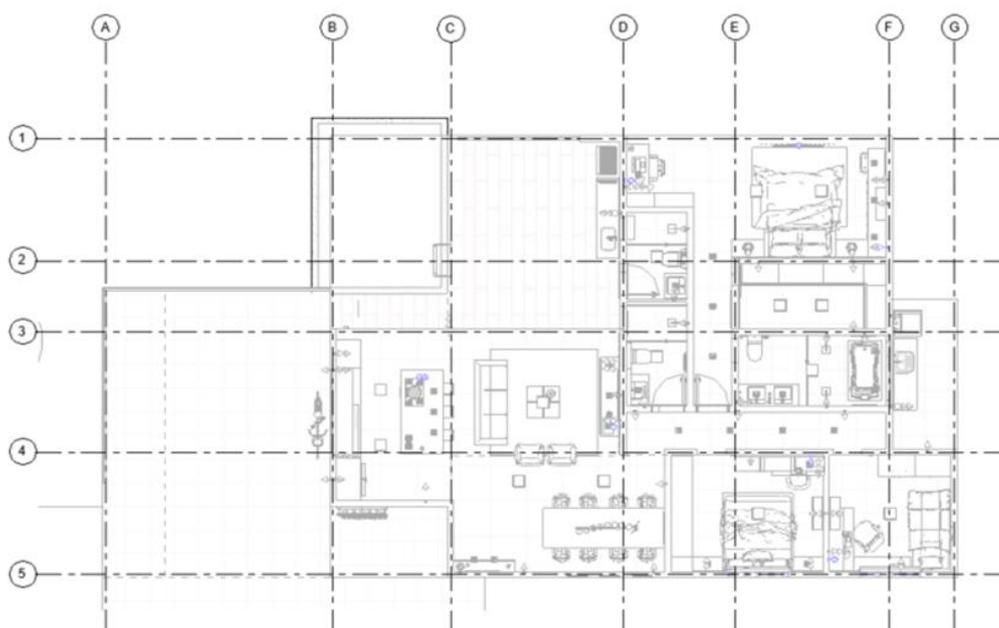
Fonte: o autor.

2.1 NUMERAÇÃO DOS EIXOS

Primeiramente, a rotina examina o número de eixos no projeto e os divide em dois grupos: eixos verticais e horizontais. Isso é feito criando vetores paralelos a cada eixo e comparando-os com os eixos cartesianos X e Y. Depois de separados, o usuário pode especificar se prefere que um dos grupos seja identificado por números e o outro por letras. Por exemplo, os eixos verticais podem ser numerados sequencialmente, enquanto os horizontais podem ser rotulados em ordem alfabética.

Finalmente, a rotina determina a ordem dos eixos de cima para baixo e da esquerda para a direita. Ela calcula um ponto central para cada eixo e compara suas coordenadas para ordená-los. Em seguida, a rotina conta quantos eixos existem em cada grupo e os enumera de acordo com a sequência definida para cada grupo. Na Figura 3 observa-se o resultado da rotina.

Figura 3: Eixos numerados



Fonte: o autor.

2.2 NUMERAÇÃO DOS PILARES E FUNDAÇÕES

O princípio de funcionamento da rotina é baseado em uma organização dos pilares e fundações por suas coordenadas Y e X no sistema global. Primeiramente, a rotina os ordena de acordo com suas coordenadas Y, ou seja, em sua posição vertical. Em seguida, realiza uma segunda organização, agora com base nas coordenadas X, ou seja, em sua posição horizontal. Dessa forma, obtém-se uma sequência lógica dos pilares e fundações, alinhada com sua posição no projeto.

Uma vez que a sequência ordenada é estabelecida, a rotina gera uma lista contendo o número total de pilares e fundações. Com essa lista em mãos, a numeração é atribuída de forma automática e consecutiva, garantindo que cada um receba o número correspondente a sua posição na sequência.

2.3 NUMERAÇÃO DAS VIGAS

A rotina de numeração de vigas apresenta um processo complexo para obter e organizar as vigas do projeto. Inicialmente, todas as vigas são coletadas e classificadas em vigas horizontais e verticais. A partir daí, um procedimento de comparação é realizado com todas as outras vigas do projeto para verificar se há interseções entre elas. Ao identificar interseções, as vigas que compartilham segmentos são agrupadas em sublistas, representando vigas contínuas.

Após a formação das sublistas, a rotina identifica se cada sublista possui mais de um elemento, indicando a presença de tramos conectados na viga. Caso positivo, são geradas letras sequenciais ("a", "b", "c" etc.) para cada tramo, proporcionando a distinção adequada entre os segmentos. Um desafio adicional enfrentado durante a programação foi a necessidade de iniciar a numeração das vigas verticais a partir do número da última viga horizontal. Esse detalhe foi solucionado no

desenvolvimento da rotina, garantindo a numeração correta. Além disso, foi adicionada uma opção de prefixo, em que permite ao usuário definir o padrão que deseja para a nomenclatura (ex. V101a)

2.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

O pré-dimensionamento é uma etapa crucial no dimensionamento estrutural, que ocorre na fase inicial do projeto. Essa etapa tem como objetivo realizar uma análise preliminar da estrutura, determinando as dimensões aproximadas dos elementos estruturais com base em estimativas e critérios pré-determinados.

Uma abordagem comum para pré-dimensionamento de vigas é adotar a proporção L/10, onde "L" representa o vão livre entre os apoios da viga. Essa proporção sugere que a altura da viga deve ser aproximadamente igual a 1/10 do vão. [3]

Essa rotina terá a capacidade de identificar o vão das vigas e, com base no critério de L/10, realizará o pré-dimensionamento, garantindo uma altura inicial adequada para cada viga. Além disso, os valores obtidos serão arredondados para múltiplos de 5 centímetros, seguindo a prática usual.

Outro recurso importante da rotina será a identificação e tratamento de vigas contínuas. O usuário terá a flexibilidade de escolher entre duas abordagens: pré-dimensionar as vigas contínuas de acordo com o maior vão encontrado, uniformizando assim a seção de toda a viga, ou realizar o pré-dimensionamento por tramo, considerando vãos individuais.

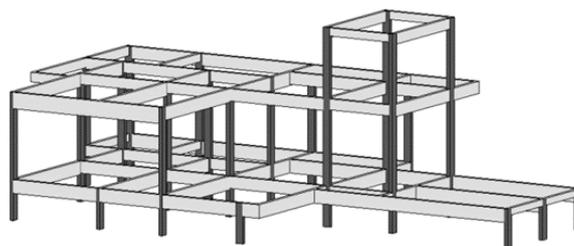
Após essas etapas, a rotina gerará um relatório em formato .xls, contendo todas as informações relevantes utilizadas no processo de pré-dimensionamento. Esse relatório fornecerá uma visão geral dos dados, incluindo os vãos das vigas, as alturas estimadas de acordo com o critério L/10 e as seções resultantes após os arredondamentos. A Figura 4 mostra um exemplo de planilha gerada pelo Dynamo, e na Figura 5 o modelo já pré-dimensionado.

Figura 4: Planilha gerada pelo Dynamo

TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTOS DAS VIGAS						
Vigas	b(cm)	Vão - Lef (cm)	h(cm) Calculado	h(cm) calculado	h(cm) uniformizado adotado	Seção Transversal (cm x cm) Adotada
V101a	15	80,00	8,00	25	40	15x40
V101b	15	345,00	34,50	35	40	15x40
V101c	15	275,00	27,50	25	40	15x40
V101d	15	380,00	38,00	40	40	15x40
V102	15	850,00	85,00	85	85	15x85
V103a	15	282,50	28,25	30	45	15x45
V103b	15	432,50	43,25	45	45	15x45
V103c	15	275,00	27,50	30	45	15x45
V103d	15	380,00	38,00	40	45	15x45
V104	15	560,00	56,00	55	55	15x55
V105a	15	275,00	27,50	30	40	15x40
V105b	15	380,00	38,00	40	40	15x40
V105c	15	160,00	16,00	25	40	15x40
V106a	15	560,00	56,00	55	55	15x55
V106b	15	282,50	28,25	30	55	15x55
V106c	15	432,50	43,25	45	55	15x55
V107a	15	425,00	42,50	40	50	15x50
V107b	15	492,50	49,25	50	50	15x50
V107c	15	307,50	30,75	30	50	15x50
V108a	15	255,04	25,50	25	25	15x25
V108b	15	255,04	25,50	25	25	15x25

Fonte: o autor.

Figura 5: Modelo Pré-dimensionado



Fonte: o autor.

2.5 DETALHAMENTO

Após o dimensionamento dos elementos estruturais, o próximo passo seria o de detalhamento de armadura dos mesmos. Para gerar o detalhamento de cada elemento, seria necessário criar uma vista de planta e cortes individualmente para cada um. Assim, será desenvolvida uma rotina que criará as vistas para todos os elementos estruturais do projeto.

2.6 FUNDAÇÕES

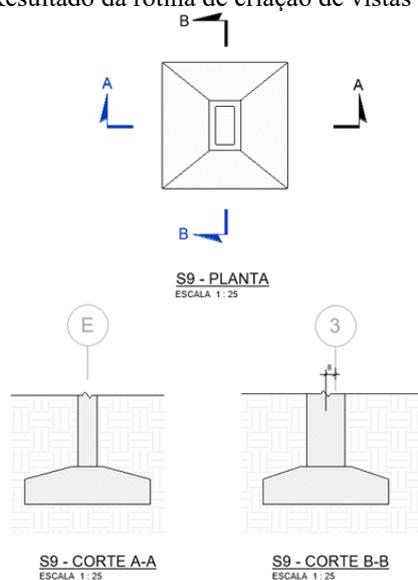
A rotina é dividida em dois blocos principais, que são:

1. Criar a planta: Nesse caso, o Dynamo tem como função selecionar a geometria da sapata/bloco e delimitar uma região ao redor, onde a planta será criada, então cria uma vista única para a fundação, nomeia a vista com o nome da mesma e aplica o modelo de vista. Ex.: S10 ou B10.

2. Criar os cortes: Com base na geometria da fundação, cria dois cortes, um na horizontal e um na vertical, e aplica o modelo de vista correto.

O resultado da rotina pode ser conferido na Figura 6.

Figura 6: Resultado da rotina de criação de vistas de fundações

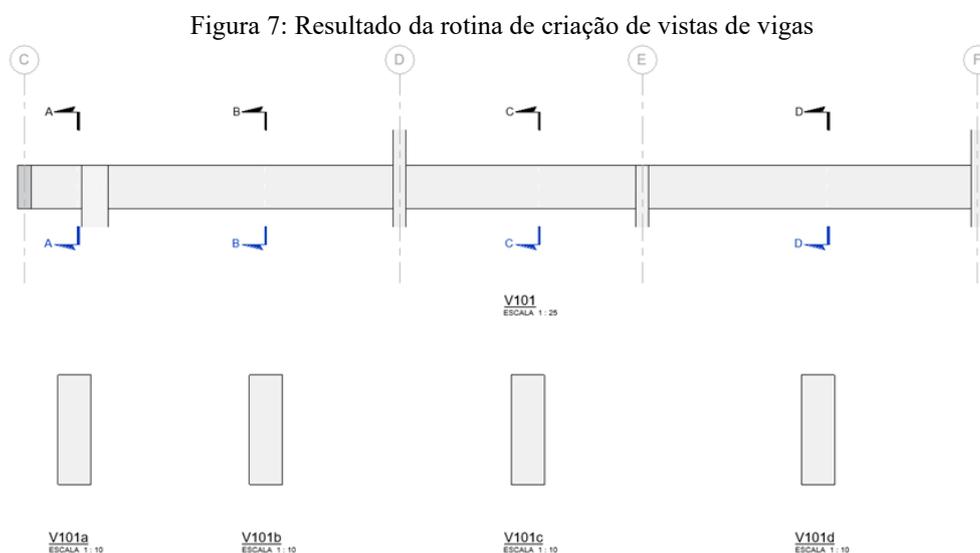


Fonte: o autor.

2.7 VIGAS

A rotina possui duas etapas, na primeira, a rotina inicialmente selecionará as vigas e criará uma linha imaginária no eixo de cada uma, reconhecendo vigas contínuas e agrupando suas linhas. Depois criará a linha de corte e definirá os limites do recorte da vista. Por fim, cria a vista do corte e aplica o modelo de vista correto. A rotina possui também um script em Python que tem como função retirar o índice alfanumérico de vigas, caso possuam. Por exemplo uma viga contínua que possui vários tramos (V102a, V102b etc.), a letra no final será retirada para criar uma vista única com o nome V102.

Na segunda etapa da rotina, o objetivo é criar seções para cada tramo da viga. Então, o ponto central de cada tramo é selecionado e o corte criado transversalmente à viga, como isto na Figura 7.



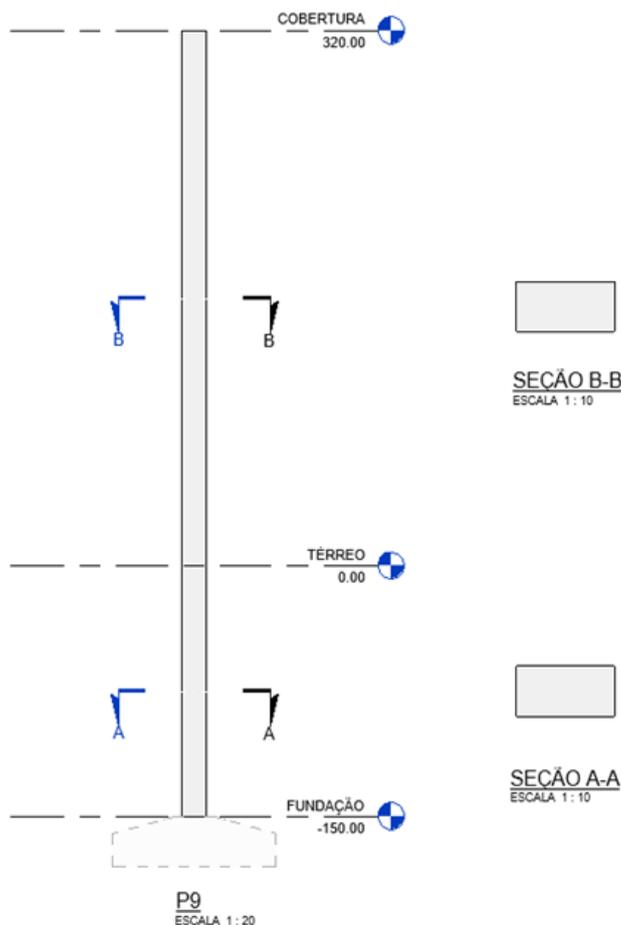
Fonte: o autor.

2.8 PILARES

Para criar o detalhamento será desenvolvida uma rotina similar a rotina de fundações, onde o pilar será selecionado e na metade de cada pavimento que ele passa, será gerado um corte transversal. Além disso, será gerado uma vista frontal do pilar. O resultado pode ser visto na Figura 8.

Os resultados ilustrados pelas figuras representam apenas um elemento estrutural e cada tipo, porém a rotina quando executada não gera as vistas apenas para um elemento, e sim para todos os contidos no projeto. E com as vistas prontas, necessita-se apenas de modelar e detalhar as armaduras.

Figura 8: Resultado da rotina de criação de vistas de pilares



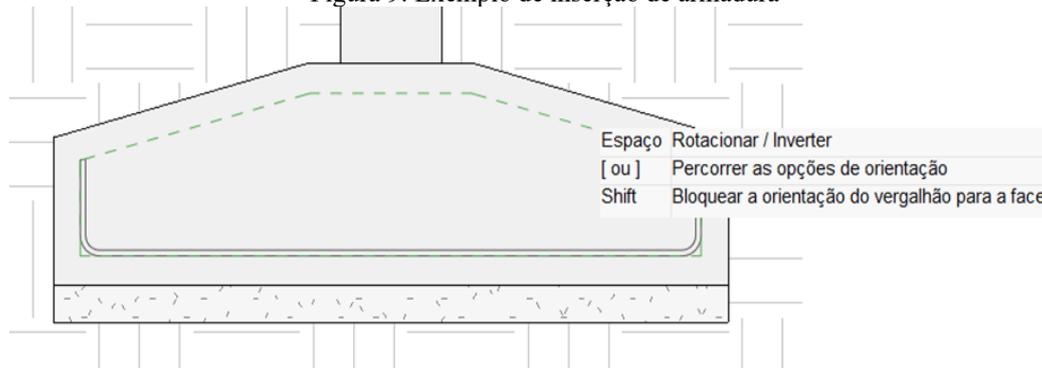
Fonte: o autor.

3 MODELAGEM DE ARMADURA

Um primeiro passo antes de iniciar a modelagem das armaduras é a correta configuração dos diâmetros comerciais e suas características segundo a ABNT NBR 6118:2023. Por exemplo, para cada tipo de aço (CA-25, CA-50, CA-60) deve-se informar ao software quais são as bitolas, diâmetros de pino de dobramento, ponta reta de ganchos, entre outras propriedades inerentes à barra. Vale ressaltar que todas essas configurações só precisam ser feitas uma única vez e podem ser reutilizadas em outros projetos.

Ao clicar no elemento estrutural, será habilitada a função de “vergalhão”, na aba “armadura”. Deve-se selecionar a bitola desejada na aba de propriedades, formato do vergalhão, e espaçamento. A armadura automaticamente se adequará ao elemento estrutural, já com os cobrimentos corretos, como visto na Figura 9. A mesma lógica de modelagem de armadura se aplica a qualquer elemento estrutural.

Figura 9: Exemplo de inserção de armadura

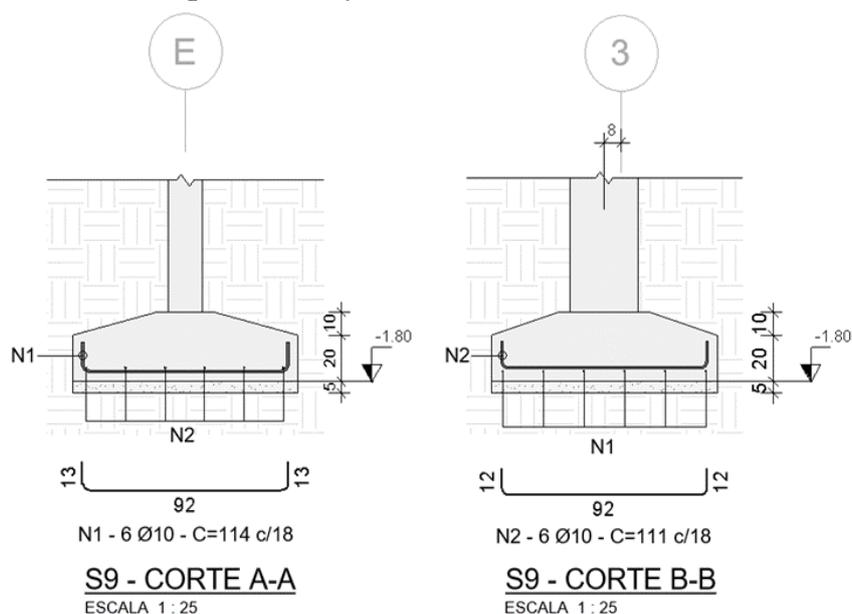


Fonte: o autor.

Cada barra modelada em um projeto carrega consigo uma série de informações essenciais para sua correta caracterização e detalhamento. Estas informações incluem sua posição, sua bitola, seu comprimento, detalhes de curvatura, entre outros parâmetros relevantes. Todas essas informações serão representadas de maneira automática, utilizando-se a ferramenta de identificadores, conforme visto na Figura 10. Os identificadores funcionam extraindo informações do modelo. Assim, qualquer modificação realizada nas barras do modelo, seja na bitola, comprimento ou quantidade, é automaticamente refletida nos identificadores correspondentes.

Ao clicar no elemento estrutural, será habilitada a função de “vergalhão”, na aba “armadura”. Deve-se selecionar a bitola desejada na aba de propriedades, formato do vergalhão, e espaçamento. A armadura automaticamente se adequará ao elemento estrutural, já com os cobrimentos corretos, como visto na Figura 9. A mesma lógica de modelagem de armadura se aplica a qualquer elemento estrutural.

Figura 10: Exemplo de detalhamento de armadura



Fonte: o autor.

As listas de barras também são geradas automaticamente a partir dos dados do modelo, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Assim são evitados possíveis erros humanos que poderiam surgir durante o processo manual de somar as posições de barras no projeto.

Uma das vantagens significativas dessa metodologia é a flexibilidade na geração das listas de barras. Os parâmetros do modelo podem ser utilizados para configurar as listas de diversas maneiras, permitindo uma variedade de opções de representação. Por exemplo, é possível gerar listas no estilo alemão, onde cada barra é representada de forma explodida no desenho, ou adotar o sistema americano, no qual os detalhes de dobramento são apresentados diretamente na lista de barras. [4] Essa capacidade de personalização oferece aos projetistas uma maior liberdade na escolha do formato mais adequado para suas necessidades específicas.

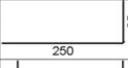
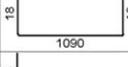
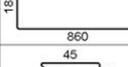
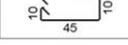
Figura 11 Exemplo de resumo de aço. Lista no sistema alemão à esquerda e formato americano à direita.

TABELA AÇO CA-50

POSIÇÃO	Ø	QUANT.	COMPRIMENTOS	
			UNIT. (cm)	TOTAL (m)
N1	8.0	4	391	15.64
N2	6.3	86	71	61.06
N3	8.0	4	203	8.12
N4	8.0	4	430	17.20
N5	8.0	4	164	6.56
N6	8.0	1	375	3.75
N7	8.0	2	253	5.06
N8	8.0	2	237	4.74
N9	8.0	2	85	1.70
N10	8.0	2	85	1.70
N11	8.0	2	375	7.50

RESUMO AÇO CA-50

Ø	COMPRIMENTO (m)	MASSA (kg)
6.3	61.06	14.96
8.0	71.97	28.43
MASSA TOTAL		43.39

N	Ø (mm)	AÇO	QUANT.	DOBRAMENTO	COMPRIMENTOS	
					UNIT. (cm)	TOTAL (m)
1	10	CA-50	2		273	5.46
2	6.3	CA-50	2		1123	22.46
3	6.3	CA-50	2		877	17.53
4	5	CA-60	56		116	64.84

Fonte: o autor.

4 CONCLUSÕES

O histórico da evolução social e tecnológico, converge para o fator tempo como um dos seus ativos mais valiosos. Neste sentido, o trabalho evidenciou que a integração da representação precisa e abrangente do BIM, em conjunto com as rotinas desenvolvidas, revelou-se uma estratégia altamente eficaz, tanto no aprimoramento do tempo de confecção (mitigando retrabalho devido à eventuais erros e/ou modificações de projeto) quanto na compreensão dos desenhos técnicos em projetos de concreto armado. Os scripts não apenas possibilitaram a automação de tarefas repetitivas, como a numeração dos elementos, acelerando o processo de projeto, mas também forneceram uma solução flexível e paramétrica para a criação de desenhos, permitindo uma rápida adaptação a alterações no projeto sem precisar redesenhar novamente.

O sucesso dessa abordagem não se limita apenas à economia de tempo, mas se estende em termos técnicos. Notou-se que com todas as famílias devidamente configuradas, as mesmas já se



comportarão de acordo com as normas vigentes, por exemplo com relação a diâmetros de dobramento. Além dos benefícios mencionados, a implementação do BIM proporcionou a capacidade de extrair quantitativos precisos de todos os materiais envolvidos no projeto, contribuindo para a eficiência no controle de custos. Dessa forma, conclui-se que a integração entre o BIM e programações em Dynamo não apenas resolveu desafios específicos no contexto do concreto armado, mas estabeleceu uma abordagem inovadora para o aprimoramento do ciclo de vida do projeto.

Todas as aplicações criadas podem ser facilmente adaptadas a qualquer necessidade de projeto, uma vez entendida a lógica de funcionamento dos nós. Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se desenvolver as seguintes rotinas:

- Pré-dimensionamento de sapatas com base na carga do pilar e resistência do solo;
- Pré-dimensionamento de lajes;
- Modelagem automática de camada de concreto magro sob as sapatas;
- Inserção automática de armaduras em elementos estruturais;
- Dimensionamento de área de aço em elementos estruturais.

Adicionalmente, pode-se estender a criação de rotinas voltadas para a área de concreto protendido, como por exemplo:

- Lançamento de cabo de protensão;
- Cálculo de perda por atrito com base na geometria do cabo;
- Cálculo de perda por retração e fluência do concreto.



REFERÊNCIAS

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4.ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2019. 415p.

EASTMAN, C. M. et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483p.

SANTOS, Edevaldo Gomes. Estrutura: desenho de concreto armado. 5.ed São Paulo: Nobel, 1985.196p

SANTOS, Natália Victoria dos; RODRIGUES, Glauco José de Oliveira (Orientador). Compatibilização de projetos estruturais de edificações via metodologia BIM – integração entre softwares de análise e dimensionamento de projeto. Projeto de Graduação I-A (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 47.2018.