



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



MAYZA ORNELLA GRANGEIRO FERREIRA

**ANÁLISE DO USO DE MODELOS PARAMÉTRICOS DURANTE A PRODUÇÃO
DE UM PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES**

Cajazeiras – PB
2019

MAYZA ORNELLA GRANGEIRO FERREIRA

**ANÁLISE DO USO DE MODELOS PARAMÉTRICOS DURANTE A PRODUÇÃO
DE UM PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Antônio Gonçalves de Farias Júnior

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

F383a

Ferreira, Mayza Ornella Grangeiro

Análise de uso de modelos paramétricos durante a produção de um pré-dimensionamento estrutural de pilares / Mayza Ornella Grangeiro Ferreira; orientador Antônio Gonçalves de Farias Júnior.- Cajazeiras, 2019.-

53 f.: il.

Orientador: Antônio Gonçalves de Farias Júnior.

TCC (Bacharelado em Eng. Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

1. Modelos paramétricos 2. Building information model - BIM 3. Pilares estruturais – Pré-dimensionamento I. Título

519.233 (0.067)

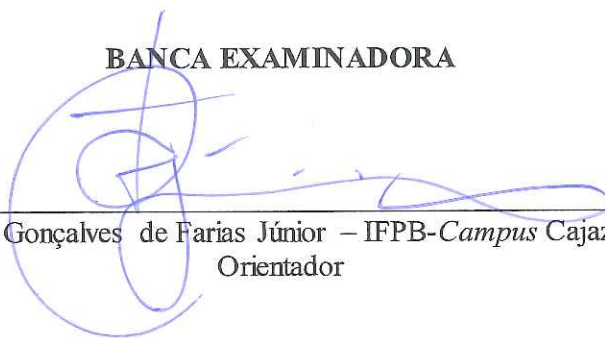
MAYZA ORNELLA GRANGEIRO FERREIRA

**ANÁLISE DO USO DE MODELOS PARAMÉTRICOS DURANTE A PRODUÇÃO
DE UM PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES**


Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 16 de Setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Antônio Gonçalves de Farias Júnior – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientador



Daniel Torres Filho – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 1



George da Cruz Silva – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 2

Cajazeiras – PB
2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha tia/mãe Toinha pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, Aquele que permitiu que tudo isso fosse possível e que encontrei forças nas horas mais difíceis.

Aos meus pais e familiares, em especial a minha tia Toinha, Bulu, Júlia, mãe Iza por aceitarem minhas decisões e sempre me apoiarem e estarem ao meu lado em todos os momentos difíceis. Aos meus sobrinhos Leônidas e Levi por me terem como exemplo e darem o ânimo de continuar crescendo.

À Naiara, uma pessoa que tive o privilégio de conhecer e que entrou na minha de uma maneira única. Que sempre esteve ao meu lado, apoiando e dando forças para continuar, me motivando a sempre ser uma pessoa melhor e fazer eu querer sempre dar o melhor de mim. A que foi minha base e dona das palavras certas que me dava paz nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, professor Me. Antônio Gonçalves de Faria júnior pela inspiração que fez despertar mais ainda o gosto por essa área e por toda a experiência e ensinamentos concedidos, além do apoio, paciência e tempo cedido nos finais de semana para realização deste trabalho.

Aos componentes da banca examinadora pela contribuição no aprimoramento da pesquisa e crescimento profissional.

Ao Instituto Federal da Paraíba, IFPB, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização de trabalhos na área de pesquisa.

A todos os professores que passaram na minha vida, por todo o ensinamento e contribuição para o meu crescimento pessoal

A todas as amigas que o IFPB me proporcionou. Em especial ao fiel grupo de estudos “Come Keto”: Antonia Luiza, Heberton Linhares, Jorge Lucas, José Neto e Lucas Queiroga, por se tornarem, além de colegas, amigos que me proporcionaram os melhores momentos durante a graduação. Espero leva-los comigo para sempre.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente na conquista de mais uma etapa da minha vida.

*“Há apenas uma maneira de evitar críticas: não
falar, não fazer e não ser nada”*

(Aristóteles)

RESUMO

Tendo em vista que a dificuldade de realização de um pré-dimensionamento estrutural feito por arquitetos estava relacionada principalmente pela falta de bibliografias, normas regulamentadoras sobre o assunto e a carência de procedimentos simplificados, a realização de uma análise sobre o uso de modelos paramétricos durante a produção de um pré-dimensionamento estrutural de pilares, a fim de propor um protótipo baseado na modelagem paramétrica com suporte na *Building Information Modelling*, ou tecnologia BIM, para realização de tal procedimento foi o objeto de estudo do presente trabalho. Como referencial teórico, buscou-se verificar os tipos existentes de realização de um pré-dimensionamento de pilares. Para metodologia de desenvolvimento do modelo paramétrico escolheu-se um dos métodos estudados a ser utilizado como teste. Os procedimentos metodológicos se iniciam, com a classificação das variáveis necessárias e em seguida, sua aplicação do ambiente BIM do *software Revit® Architecture 2017* baseado no uso de famílias paramétricas e fórmulas condicionais, e o editor de planilhas *Microsoft Excel®*, para criação das *lookup tables*, a fim de estruturar em formato de banco de dados as variáveis necessárias ao pré-dimensionamento. A primeira etapa se deu através de um estudo piloto com o propósito de atribuir e testar os parâmetros e fórmulas que vinculassem as variáveis classificadas. Diante disso, o processo utilizado como teste foi o do uso de gráficos, onde os resultados para a parametrização foram satisfatórios, conseguindo modelar o pilar e atribuir vínculos onde a sua menor dimensão (que possuía valores mínimos e máximos) ficasse em função da altura não travada. Constatou-se a capacidade do *software* de trabalhar com formulações condicionais que imponham restrições as variáveis, o que permite compreender que o objetivo foi alcançado e que é possível o desenvolvimento de um modelo paramétrico que realize o processo de pré-dimensionamento com suporte na tecnologia BIM, parcialmente automatizado. Facilitando o processo de pré-dimensionamento para profissionais com pouca experiência na área e otimizando o processo de produção de projetos arquitetônicos para a diminuição de erros de compatibilização estrutural.

Palavras-chave: BIM, modelos paramétricos, pré-dimensionamento.

ABSTRACT

Considering that the difficulty of carrying out structural pre-sizing by architects was mainly related to the lack of bibliographies, regulatory norms on the subject and the lack of simplified procedures, an analysis of the use of parametric models during The production of a structural pre-dimensioning of columns, in order to propose a prototype based on parametric modeling supported by the Building Information Model, or BIM technology, to perform such a procedure was the object of study of this work. As a theoretical framework, we sought to verify the existing types of pillar pre-sizing. To develop the parametric model methodology, we chose one of the studied methods to be used as a test. The methodological procedures begin with the classification of the necessary variables and then their application of the Revit® Architecture 2017 software BIM environment based on the use of parametric families and conditional formulas, and the Microsoft Excel® spreadsheet editor to create the lookup tables, in order to structure in database format the variables necessary for pre-sizing. The first step was through a pilot study with the purpose of assigning and testing the parameters and formulas that linked the classified variables. Therefore, the process used as a test was the use of graphs, where the results for the parameterization were satisfactory, being able to model the pillar and assign links where its smaller dimension (which had minimum and maximum values) was a function of the height locked. The software was able to work with conditional formulations that impose restrictions on the variables, which allows us to understand that the objective has been achieved and that it is possible to develop a parametric model that performs the pre-sizing process supported by BIM technology. , partially automated. Facilitating the pre-sizing process for professionals with little experience in the field and optimizing the production process of architectural projects to reduce structural compatibility errors.

Keywords: BIM, parametric models, pre-sizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Valores do coeficiente adicional para pilares	18
Figura 2 - Área de influência de pilares pelo método de Rabello	19
Figura 3 - Pré-dimensionamento de pilares de concreto (andar único)	21
Figura 4 - BIM no ciclo de vida de um edifício	23
Figura 5 - Processo tradicional de projeto comparado ao processo BIM	24
Figura 6 - Famílias de objetos incorporadas as principais ferramentas BIM	27
Figura 7- Fluxo das etapas realizadas na metodologia da pesquisa.....	28
Figura 8 - Atribuições de parâmetros	30
Figura 9 - Tela dos recursos de tipos de famílias do software Revit arquitetura.....	31
Figura 10 - Formato de uma lookup table	32
Figura 11 - Modelagem e parametrização de pilar estrutural	34
Figura 12 - Teste de dependência entre as variáveis	35
Figura 13 - Utilização de fórmula de intervalos com os valores mínimos e máximos.....	36
Figura 14 - Gráfico utilizado para transferência de dados para a <i>lookup table</i>	37
Figura 15 - Importação da tabela de pesquisa para o ambiente de famílias do Revit.....	38
Figura 16- Parâmetros utilizados para criação do protótipo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos métodos de pré-dimensionamento apresentados	22
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – *Building Information Modelling*

CAD – *Computer Aided Design*

CVS – valores separados por vírgula

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NIBS - *National Institute of Building Sciences*

RAM - *Random Access Memory*

LISTA DE SÍMBOLOS

% - por cento

cm – centímetro

cm² - centímetro quadrado

A_s – área da seção

P – peso

A_{inf} – área de influência

q_{piso} – carga do piso

n – número de pavimentos

q_{cob} – carga da cobertura

Kgf/m² - quilograma-força por metro quadrado

Q – carga vertical atuante no pilar

σ_{id} – tensão ideal de cálculo

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão

ρ – taxa geométrica de armadura longitudinal

σ_{s2} – tensão no aço relativa à deformação específica de 0,2%.

® - marca registrada

GHz – giga-hertz

GB – gigabyte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	17
2.1.1 Pré-dimensionamento de pilares	17
2.2 BIM.....	22
2.2.1 Modelos paramétricos.....	25
3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	28
3.2 COLETA DE DADOS	29
3.3 CONCEPÇÃO DO MODELO PARAMÉTRICO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO	29
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	33
4.1 ESTUDO PILOTO	33
4.2 REFINAMENTO DO PROTÓTIPO	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A – FÓRMULAS UTILIZADAS PARA OS PARÂMETROS	46
APÊNDICE B – BANCO DE DADOS DA TABELA DE PESQUISA.....	47
APÊNDICE C – TUTORIAL DE USO DA FAMÍLIA PARAMÉTRICA	49

1 INTRODUÇÃO

Antes de realizar qualquer construção é necessário planejar, dessa maneira é preciso que se tenha um projeto para depois executá-lo. Além do mais, toda edificação precisa de uma estrutura como apoio, sendo fundamental conhecer os elementos que a compõe.

Criar uma estrutura de uma edificação é estabelecer um vínculo com os seus elementos estruturais de maneira a trabalhar a favor da segurança, da economia, ter uma durabilidade garantida de acordo com a sua vida útil, e que consiga atender todas as exigências previstas no seu projeto. Ela deve atender todas as exigências necessárias a arquitetura, o que torna o projeto arquitetônico a essência para elaboração do projeto estrutural e os demais (ALVA, 2007).

Lançar a estrutura de uma edificação consiste em definir qual posição mais adequada para alocar os elementos estruturais e estabelecer suas dimensões iniciais, o que requer uma familiaridade e experiência prática do projetista (MORENO, 1993).

Dessa forma, o conhecimento do projetista nessa área influencia na concepção dos espaços arquitetônicos, sendo de suma importância que esse profissional elabore um arranjo estrutural adequado, levando em conta o arquitetônico para que ao final, tenha-se um projeto consistente (MELO, 2013).

Entretanto, os sistemas construtivos e a arquitetura nem sempre tem um encontro bem-sucedido, um problema causado pela ausência de interação entre esses projetos, o que acaba causando uma contrariedade no relacionamento entre os arquitetos e engenheiros estruturais (MANCINI, 2003).

O projetista precisa de um número razoável de informações sobre a edificação com o intuito de estabelecer uma perfeita interação dos projetos com a estrutura, a fim de evitar atrasos, desperdícios e imprevistos indesejáveis.

Assim, a busca de melhorias nos processos e produtos da construção civil, com o objetivo de aprimorar as técnicas, tornando um setor ainda mais produtivo e dinâmico, vem sendo investigado há tempos. É o caso de quando se quer avaliar os potenciais provenientes dos processos de realização de parametrização de um dado pré-dimensionamento estrutural tentando buscar caminhos que apresentem processos eficazes e eficientes.

1.1 OBJETIVOS

Propor um protótipo de modelo paramétrico desenvolvido para realizar o pré-dimensionamento de pilares estruturais com suporte na tecnologia BIM.

1.2 JUSTIFICATIVA

Na construção de qualquer empreendimento é envolvido um grande número de informações que precisam ser bem gerenciadas com o intuito de minimizar os custos e impactos na construção. Quanto maior essas informações, maior é a complexidade do empreendimento e o crescimento da necessidade da integração entre os projetos promove uma troca de informações entre os projetistas durante o processo de produção (CORRÊA; NAVEIRO, 2001).

Ainda segundo Corrêa e Naveiro (2001), dentre as diversas integrações entre projetos, os arquitetônicos e estruturais requerem uma atenção específica pelo fato da estrutura representar uma percentagem de 14% a 19% dos custos totais na execução (GOLDMAN, 2004).

Dessa forma, a concepção de um projeto arquitetônico deve sempre levar em consideração a comunicação com a estrutura, onde muitas vezes, essa interação é realizada de maneira superficial devido à dificuldade dos arquitetos no processo de pré-dimensionamento estrutural.

Segundo Pires (2011) essa dificuldade dos arquitetos origina-se da falta de bibliografia, a ausência de normas que tratam sobre pré-dimensionamento estrutural ou até mesmo a carência de procedimentos simples, fazendo com que todo o conhecimento seja resultado da experiência adquirida ao longo do tempo, o que dificulta ainda mais o processo.

Ainda de acordo com o mesmo autor, um bom pré-dimensionamento pode facilitar a compatibilização do projeto arquitetônico com o estrutural e o mesmo com os demais projetos existentes a uma edificação, como elétrico, hidráulico, sanitário, evitando retrabalhos para engenheiros e arquitetos, gerando uma economia de recursos e de tempo, e um melhor aproveitamento dos espaços.

Por isso, a necessidade da realização de pré-dimensionamento estrutural feito por arquitetos é imprescindível, pois segundo Melo (2013), para conceber um projeto consistente é necessário que se leve em consideração o arranjo estrutural, assim como as dimensões dos elementos, pois a estrutura pode interferir na arquitetura.

A existência de diversos *softwares* designados para área da construção civil tem colaborado para aumentar a velocidade e a facilidade na troca de informações, contribuindo para o uso dessas ferramentas como recurso de análise, dimensionamento, detalhamento e concepção de projetos arquitetônicos, estruturais, entre outros (MANCINI, 2003).

Diante disso, a busca por ferramentas que facilitem e otimizem o processo de pré-dimensionamento para esses profissionais pode ser uma forma de suprir todas as dificuldades enfrentadas já citadas no texto.

A indústria da construção no Brasil está entre as maiores do mundo, sendo responsável por 2% da indústria global, sendo assim, a adoção dos conceitos e ferramentas de *Building Information Modelling* – BIM pode ter um impacto significativo nesse setor (KASSEM; AMORIM, 2015).

O BIM facilita interações de diferentes ferramentas de projeto, melhorando a disponibilidade da informação e proporcionando a integração das ideias geradas na construção (EASTMAN et al., 2014). Ele promove mudanças em todo o sistema construtivo de uma edificação, desde o estudo de viabilidade até o ato de sua demolição.

Assim, com o propósito de dar suporte aos profissionais da construção civil, a utilização da tecnologia BIM pode surgir como uma excelente alternativa por apresentar a possibilidade de parametrização de dados através de modelos paramétricos que permitem realizar simulações para um dado pré-dimensionamento estrutural, podendo ser testado cenários da aplicabilidade a partir de modelos criados para esse fim. Como resultado, espera-se que ocorra uma otimização do processo de produção do projeto de arquitetura no qual envolve diretamente o pré-dimensionamento estrutural.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos, onde o primeiro trata de uma breve introdução do tema proposto, delimitando os objetivos da pesquisa e em sequência, sua justificativa. O segundo capítulo refere-se a uma revisão de literatura que se encontra dividida em dois tópicos, o primeiro trata a respeito do assunto de pré-dimensionamento estrutural numa visão geral e de pilares, e o segundo tópico relata sobre a tecnologia BIM, trazendo conceitos, benefícios e a utilização de modelos paramétricos. No capítulo 3 será exposta toda a metodologia utilizada para a execução do trabalho, com a descrição de cada uma das etapas, desde a coleta de dados até a concepção do modelo. Posterior a isso, no capítulo 4, serão

apresentados os resultados alcançados, bem como as discussões necessárias. Por fim, no capítulo 5, conclui-se o trabalho expondo as considerações finais, descrevendo as deduções feitas a partir dos resultados obtidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

No dimensionamento de uma estrutura, a seção transversal dos elementos estruturais é dada de acordo com os esforços solicitantes, mas em contrapartida, esses esforços só podem ser encontrados após a obtenção da seção transversal, gerando um ciclo. Surgindo assim, a necessidade da realização de um pré-dimensionamento (ALVA, 2007).

Para Rabello (2007) o pré-dimensionamento de uma estrutura serve para avaliar as dimensões necessária antes de calculá-las, permitindo que o arquiteto consiga elaborar um desenho do edifício de maneira mais real.

O pré-dimensionamento de uma estrutura é um processo onde são estimadas determinadas dimensões para os elementos estruturais e, depois, através do cálculo do próprio dimensionamento em si, ocorre a verificação se as dimensões adotadas são adequadas (MORENO, 1993).

Para se realizar um pré-dimensionamento segundo Mello (2013), diversos conceitos devem ser envolvidos, tais como a interação da estrutura com o projeto arquitetônico, os aspectos construtivos e normativos, e outros. Além disso, a primeira etapa realizada será a criação da estrutura com base no projeto arquitetônico.

2.1.1 Pré-dimensionamento de pilares

Pilar pode ser conceituado como um elemento estrutural geralmente vertical que recebe ações predominantemente de compressão, sendo de grande importância estrutural por receber cargas das vigas ou lajes e as conduzem para as fundações (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Por outro lado, Rabello (2007) afirma que o pilar é uma barra submetida principalmente a compressão axial, sendo que em alguns casos podem estar também submetidos a esforços de flexão, como em pórticos ou devido a incidência de forças horizontais, como o vento e frenagem de veículos, por exemplo.

A NBR 6118:2014 define pilares como elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são predominantes, que não podem apresentar dimensão inferior a 19 cm (podendo chegar até 14 cm, desde que se aplique um coeficiente adicional de majoração de cargas no dimensionamento), de acordo com a Figura

1. Entretanto ainda de acordo com a NBR 6118:2014, em nenhum caso é permitido pilares com área de seção menores que 360 cm².

Figura 1 - Valores do coeficiente adicional para pilares

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$$

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014

No decorrer da criação do projeto arquitetônico é necessário estabelecer as dimensões dos pilares, antes mesmo de se conhecer os esforços solicitantes que podem vir atuar nesses elementos (BASTOS, 2017).

Surgindo assim o pré-dimensionamento de um pilar, que consiste basicamente em determinar a área de sua seção transversal. O qual pode ser feito utilizando fórmulas empíricas ou gráficos (RABELLO, 2007, MELLO, 2013). E a forma geométrica da sua seção pode ser dada pelas condições arquitetônicas ou aspectos estruturais exigidos.

Alguns autores, como Barcarji (1993), Aufieri (1997), Moreno (1993), Cunha (2014), Pinheiro (2007), Rabello (2000, 2007), sugerem processos simplificados que podem ser utilizados para a determinação da seção dos pilares para se obter uma estrutura de pré-dimensionamento mais próxima possível da estrutura real (REIS, 2012). A maioria desses autores encontrados referem-se a um pré-dimensionamento realizado por engenheiros. Vejamos a seguir alguns desses processos:

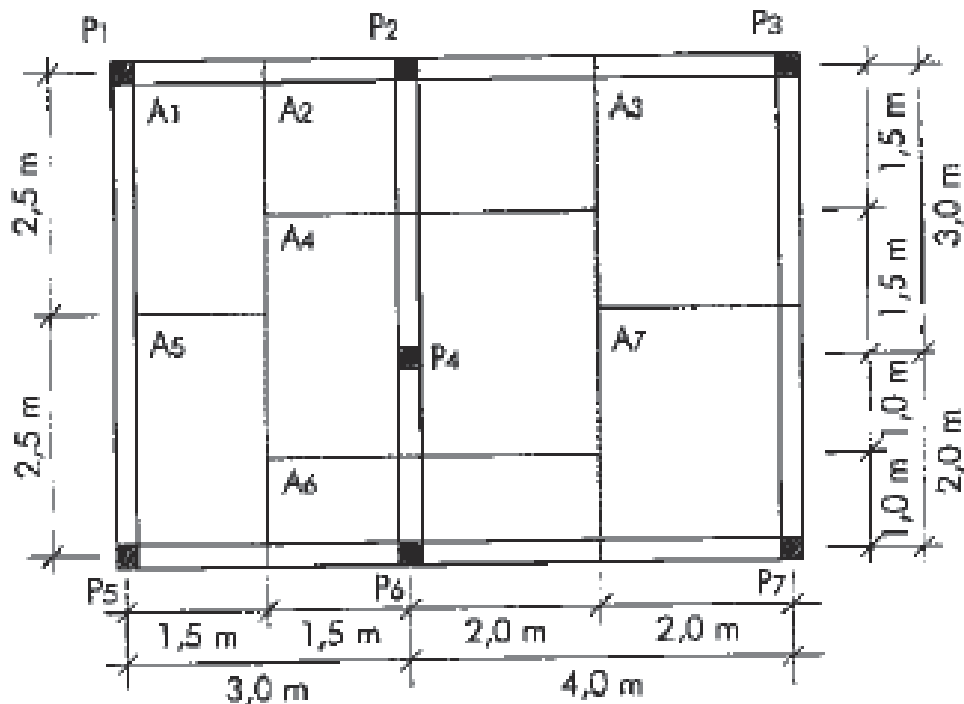
a) Área de Influência

Esse método consiste em dividir os pavimentos em áreas de influência de acordo com a posição de cada pilar, determinando assim, a carga que cada um irá receber, hipoteticamente. A partir dos valores obtidos, a área da seção transversal do pilar é determinada pelo uso de fórmulas empíricas. Tanto as áreas como as equações podem ser tomadas de maneiras

diferentes, dessa forma será demonstrado apenas uma dessas maneiras de obtenção da área de influência e de carga.

Rabello (2007) aborda que a obtenção da área se dá pela multiplicação dos comprimentos correspondentes à metade da distância entre os pilares, em ambas as direções, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Área de influência de pilares pelo método de Rabello



$$A_4 = (1,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m}) \times (1,5 \text{ m} + 1,0 \text{ m}) = 8,75 \text{ m}^2$$

Fonte: RABELLO, 2007

- Para pilares com altura livre inferior a 4 m.

$$A_s = \frac{P}{100} (\text{cm}^2) \quad (1)$$

- Para pilares com altura livre superior a 4 m.

$$A_s = \frac{P}{80} (\text{cm}^2) \quad (2)$$

Onde “ A_s ” é a área necessária para a seção do pilar em cm^2 e “ P ” é a carga atuante no pilar e é estipulada pela multiplicação das respectivas áreas de influência por uma carga (cargas do peso próprio, sobrecargas e alvenaria) hipoteticamente distribuída sobre toda a área do edifício, como a equação a seguir propõe:

$$P = (A_{inf} \times q_{piso}) \times n + A_{inf} \times q_{cob} \quad (3)$$

Com “ n ” igual ao número de pavimentos, $q_{piso} = 800 \text{ Kg/m}^2$ e $q_{cobertura} = 600 \text{ Kg/m}^2$. Os valores das cargas do piso e cobertura são médias obtidas nas edificações, de acordo com Rabello (2007).

b) Reações de apoio das vigas

Segundo Bacarji (1993), este processo baseia-se na determinação das reações de apoio das vigas de uma construção, onde se é calculada a carga vertical que cada pilar absorve. A área da seção transversal é obtida conforme a Equação 4:

$$A_{seção} = \frac{Q}{\sigma_{id}} \quad (4)$$

Nesse caso, “ Q ” é a carga vertical atuante no pilar e “ σ_{id} ” é a tensão ideal de cálculo, definida pela equação (5).

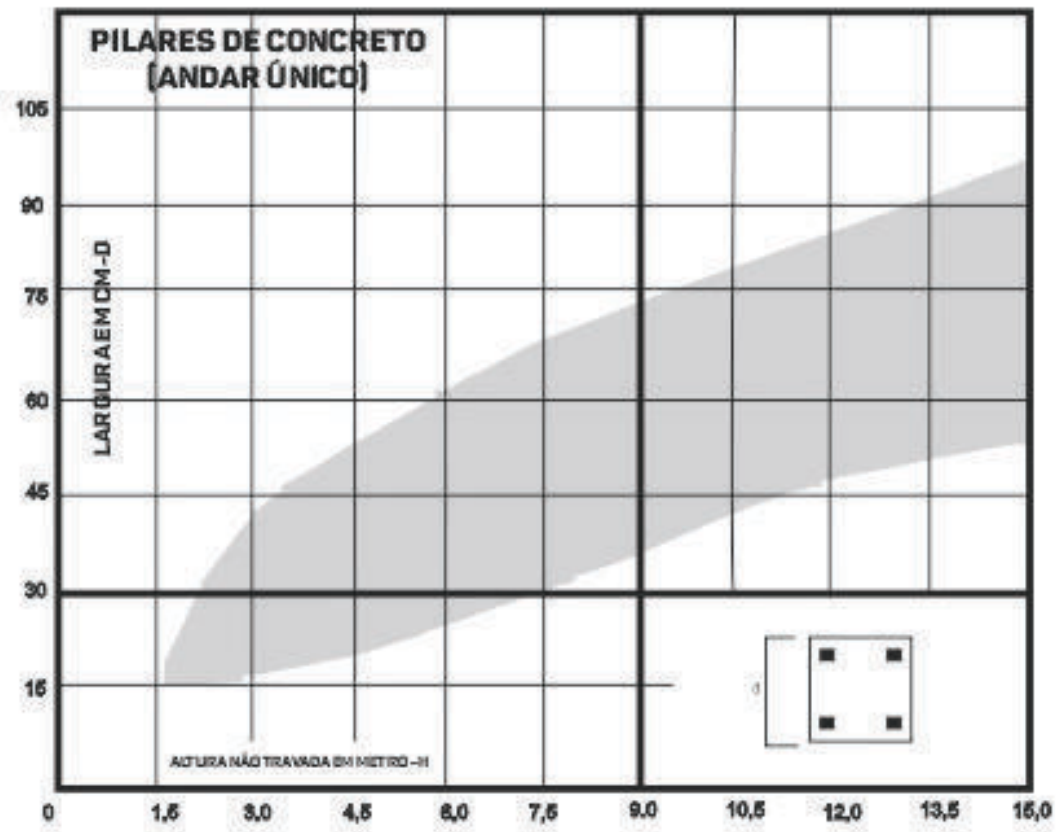
$$\sigma_{id} = 0,85f_{cd} + \rho \cdot \sigma_{s2} \quad (5)$$

Com “ f_{cd} ” sendo a resistência de cálculo do concreto à compressão, “ ρ ” a taxa geométrica de armadura longitudinal e “ σ_{s2} ” a tensão no aço relativa à deformação específica de 0,2%. Essa última pode ser obtida segundo a NBR 6118:2014.

c) Uso de gráficos

Rabello (2000) utiliza-se de gráficos para a realização do pré-dimensionamento dos elementos estruturais. A seguir temos a Figura 3 que mostra o gráfico utilizado para o pré-dimensionamento de pilares de concreto para um andar único.

Figura 3 - Pré-dimensionamento de pilares de concreto (andar único)



Fonte: RABELLO, 2000

O gráfico acima indica o eixo das abscissas correspondente à altura não travada dos pilares, e o eixo das ordenadas referente aos valores correspondentes à dimensão mínima de um dos lados da seção do pilar. Esse gráfico se apresenta no aspecto de superfície contida em duas linhas, onde a linha superior equivale ao valor máximo e a inferior ao valor mínimo (RABELLO, 2000).

Para um melhor entendimento, a Tabela 1 contém um breve resumo dos três métodos acima demonstrados para realização de pré-dimensionamento de pilares (área de influência, reações de apoio das vigas e uso de gráficos), comparando-os entre si.

De acordo com a Tabela 1, os três métodos se comparados com a quantidade de variáveis presentes, a técnica utilizada e o entendimento da mesma, o método de pré-dimensionamento realizado por Rabello (2000) com utilização de gráficos foi considerado o mais prático e desenvolvido para ser usado principalmente por profissionais com pouca experiência na área.

Tabela 1 – Resumo dos métodos de pré-dimensionamento apresentados

AUTOR/ANO	MÉTODO	QUANTIDADE DE VARIÁVEIS	TÉCNICA UTILIZADA
RABELLO (2007)	Área de Influência	6	Obtenção da área da seção através da carga atuante em cada pilar obtida pela área de influência de cada um.
BACARJI (1993)	Reações de apoio das vigas	6	Obtenção da área da seção através da carga absorvida por cada pilar com base nas reações de apoio das vigas.
RABELLO (2000)	Uso de Gráficos	2	Obtenção da menor dimensão da seção do pilar em função da sua altura não travada.

Fonte: AUTOR, 2019

2.2 BIM

A implementação da tecnologia BIM é um dos avanços mais promissores na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), permitindo que uma edificação seja construída digitalmente com enorme precisão através de modelos virtuais (SILVA, 2013). Embora esse conceito seja tido como assunto atual, sua origem é constatada desde a década de 70, sendo aprimorada durante os anos (EASTMAN, et al., 2014).

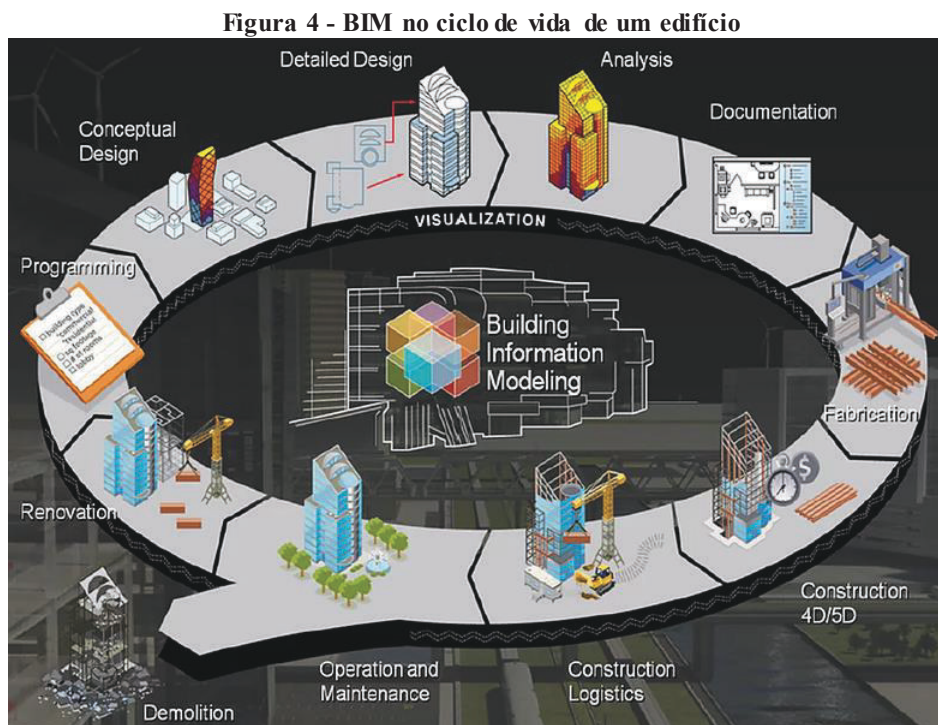
Ainda de acordo com Eastman, et al. (2014), modelagem da informação da construção ou *Building Information Modeling* – BIM pode ser definida como uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de uma construção.

BIM é considerado uma representação digital das atribuições funcionais e físicas de uma instalação, servindo como um arquivo compartilhado de informações sobre essa instalação. Gerando uma base estruturada de dados para colaboração em todo o ciclo de vida de uma edificação (NIBS, 2007).

Para Cruz (2017), BIM é uma tecnologia que tem por objetivo a modelagem de um produto, relacionado às etapas de análise e produção dos modelos de construção. Esses modelos são formados de representações inteligentes dos objetos.

A Autodesk define BIM como um processo que é fundamentado em modelos inteligentes 3D que permite que os profissionais de AEC tenha, uma visão e ferramentas de

planejar, projetar, construir e gerenciar edificações com mais eficiência, podendo acompanhar todo o ciclo de vida de um projeto, como mostra a Figura 4.



Fonte: Revit é BIM? Disponível em: <<https://bimnapratica.com/blog/revit-e-bim>>

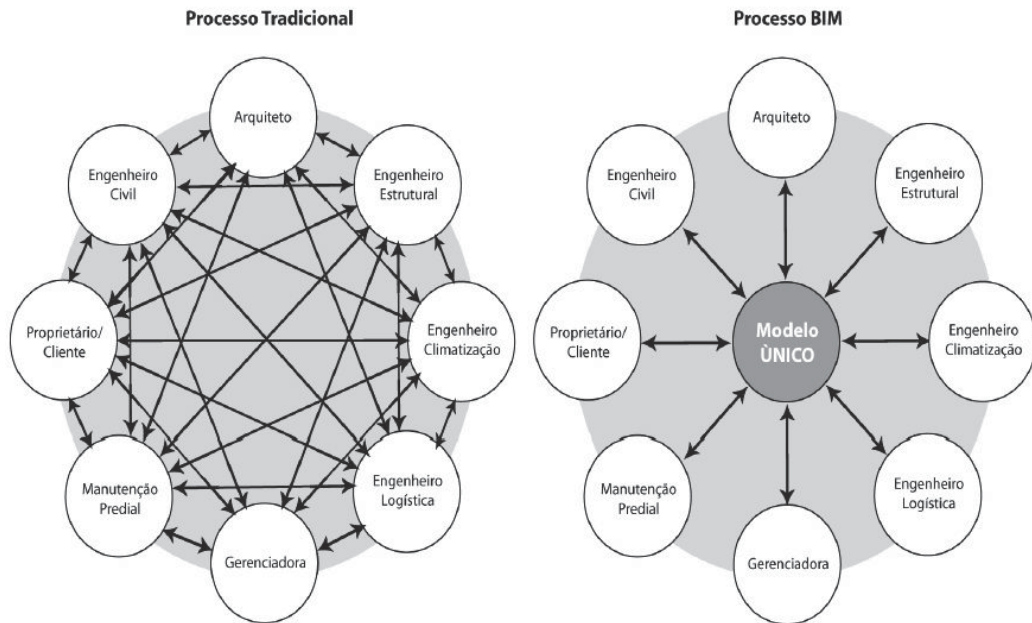
O BIM também é conceituado como uma plataforma de trabalho que integra AEC na criação de um modelo virtual de grande precisão, onde é gerada uma base de dados que contém informações suficientes para a elaboração, criação e acompanhamento de todas as fases de um projeto (MENEZES, 2011).

Esse termo é utilizado por criadores de *software* para representar os recursos que seus produtos oferecem, mas é frequentemente confundido com ferramentas comercializadas por esses criadores. BIM não é um *software* e sim uma metodologia baseada num sistema de dados que gera valor e inovação a longo prazo (SILVA, 2013).

Um diferencial do processo de construção com BIM para o tradicional é o canal de comunicação entre o processo. Como pode ser verificado na Figura 5, o processo tradicional possui vários canais de comunicação, gerando uma desorganização de trabalho, dificuldade de comunicação entre os profissionais envolvidos e erros do projeto. Já com a tecnologia BIM, existe uma entrega de projeto integrado (*Integrated Project Delivery* – IPD), onde todas as informações são gerenciadas a partir de um modelo central. Isso torna o processo mais

colaborativo onde as informações se encontram sempre atualizadas e enriquecidas (BARBOSA, 2014).

Figura 5 - Processo tradicional de projeto comparado ao processo BIM



Fonte: GOES e SANTOS, 2011

O modelo BIM é constituído de um único arquivo que simula a construção real. Esse modelo possui todas as informações necessárias e pode ser alimentado simultaneamente pelos profissionais envolvidos no projeto. Diferente do modelo tradicional, onde todo o processo acontece manualmente e lentamente repassado de um profissional para outro.

Sem contar que seu uso pode trazer muitos benefícios para o projeto, abrindo um leque de possibilidades para os profissionais. Dentre esses benefícios, segundo Eastman, et al. (2014) estão:

- Visualização antecipada e mais precisa de um projeto;
- Correções automáticas de baixo nível quando mudanças são feitas no projeto;
- Geração de desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer etapa do projeto;
- Colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto.

A modelagem paramétrica e a interoperabilidade são as principais características presentes no BIM que o diferencia dos sistemas CAD tradicionais. A compreensão dessas características se torna fundamental para a produção em BIM (ANDRADE, 2009).

2.2.1 Modelos paramétricos

Durante a elaboração de um projeto arquitetônico, as características das partes desenhadas, normalmente passam por diversas revisões e modificações. Com o objetivo de resolver essa dificuldade, que faz os profissionais perderem bastante tempo, foi criada uma estrutura de representação computacional de objeto baseada em parâmetros e hierarquia: modelos paramétricos (FLORIO, 2007).

O desenvolvimento da modelagem paramétrica se deu nos anos 80 e é a tecnologia principal do BIM, diferenciando-o dos modelos tradicionais e distinguindo o que realmente é tecnologia BIM do que não é. As ferramentas BIM são modelos paramétricos embasados em objetos que possuem um conjunto pré-determinado de famílias com desempenho objetivado dentro deles (EASTMAN, et al., 2014).

A modelagem paramétrica apresenta elementos fundamentados em parâmetros e regras que determinam a geometria e as características desses elementos, permitindo que se adaptem de acordo com a necessidade do usuário, variando nas suas dimensões, proporções e formas (RIBEIRO; CÉSAR JÚNIOR, 2018).

Essa tecnologia tem a capacidade de facilitar as revisões dos projetos, aumentar a produtividade e diminuir os conflitos entre os elementos construtivos, pois esses elementos, como citado acima, são parâmetros integrados, os quais a partir de programas computacionais podem sofrer alterações de componentes já modelados e atualizados simultaneamente (FLORIO, 2007).

Quando se utiliza um projeto paramétrico, o profissional define uma família de modelos e não uma instância de um elemento, como uma janela, por exemplo. Essa característica é um diferencial, pois segundo Eastman, et al. (2014), no CAD 3D, em suas versões até o ano referente a essa bibliografia, a geometria do objeto é editada de forma manual pelo usuário e em um modelador paramétrico, as geometrias da forma são ajustadas automaticamente às modificações feitas pelo projetista.

Santos (2012) acredita que a capacidade variacional do sistema BIM é responsável pela capacidade de os componentes reagirem automaticamente a mudança dos modelos, ela permite atribuir aos parâmetros, além de medidas fixas, equações que podem referenciar valores de outros parâmetros como variáveis, estabelecendo relações das mais simples, as mais complexas, que envolvem diversas condições.

Essa automação que os modelos paramétricos proporcionam são os principais diferenciais que acarretam inúmeras vantagens aos projetos BIM, tornando a coordenação do modelo e suas alterações mais rápidas e fáceis (SENA, 2012).

Outra importante característica dessa tecnologia é a *constraint base modelling* ou modelagem baseada em restrições ou vínculos (paralelismo, adjacência, ângulos, etc.) permitindo determinar relações geométricas que devem sempre ser obedecidas entre os objetos e que cada instância de um elemento varie em função dos parâmetros. (SANTOS, 2012; EASTMAN, et al., 2014).

Segundo Mainardi (2011), os parâmetros podem ser de família ou compartilhado, o primeiro se trata de quando o parâmetro contém informações apenas da família que ele pertence, como a área e a altura de um objeto. O segundo atua quando é necessário transmitir informações entre famílias diferentes.

Os sistemas de modelagem 3D paramétrica possuem a capacidade sumária de detectar interferências entre os objetos, além de fornecerem um meio efetivo de criar e editar geometria. Sua ausência ocasiona erros nos projetos (EASTMAN, et al., 2014).

A organização de um modelo paramétrico é matizada por famílias de elementos onde diferentes instâncias de um único tipo pode produzir uma infinidade de objetos com uma variedade de parâmetros. Podendo, por exemplo, a qualquer momento alterar as dimensões de uma porta ou um pilar (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Segundo Eastman, et al. (2014) as famílias paramétricas possuem uma forma padrão, onde todas as ferramentas BIM possuem suporte para sua definição. Essas famílias podem ser modificadas e caso uma dada família de um determinado objeto não exista, o profissional possui a opção de criar a instância desse objeto, onde uma vez criado, pode ser usado em qualquer projeto que esteja inserido.

Atualmente, as ferramentas de projeto de arquitetura que utilizam o BIM, expandiram a capacidade de realizar modelagem paramétrica fundamentada em objetos, onde alguns parâmetros possuem os seus valores determinados pelo cliente e outros baseiam-se em valores já definidos. A Figura 6 mostra uma lista de algumas famílias oferecidas pelas principais ferramentas BIM de projeto de arquitetura (EASTMAN, et al., 2014).

Figura 6 - Famílias de objetos incorporadas as principais ferramentas BIM

Ferramenta BIM Objetos Base	ArchICAD v 10	Bentley Architecture V8.1	Revit Architecture V9.1	Digital Project R5.v3
Modelo sólido com features	•	•	•	•
Modelo de terreno	•	• (Modelo de contorno)	• (Superfície topográfica)	
Definição do espaço	Manual	Manual	Sala (automático)	Sala (automático)
Parede	•	•	•	•
Coluna	•	•	•	•
Porta	•	•	•	•
Janela	•	•	•	•
Telhado	•	•	•	Objeto personalizado
Escada	•	•	•	Objeto personalizado
Laje	•	•	Piso	•
Final de parede	•	•		
Zona	•	Forro	Forro	
Viga	•			•
Objetos únicos para cada sistema	Claraboia, janela de canto	Shaft	Piso, cortina de vidro, grade, montante, braçadeira, fundação	Abertura, abertura por contorno

Fonte: EASTMAN, et al., 2014

O Revit[®] *architecture*, como vista na figura acima, é uma das ferramentas da fabricante *Autodesk* que utiliza famílias paramétricas em sua modelagem e possui um vasto conjunto de bibliotecas dos objetos que suportam uma interface multiuso. Ele permite a geração e gerenciamento de informações baseadas em atualizações dos desenhos. A modelagem destes objetos consiste na modelagem de uma família (EASTMAN, et al., 2014; RIBEIRO; CÉSAR JÚNIOR, 2018).

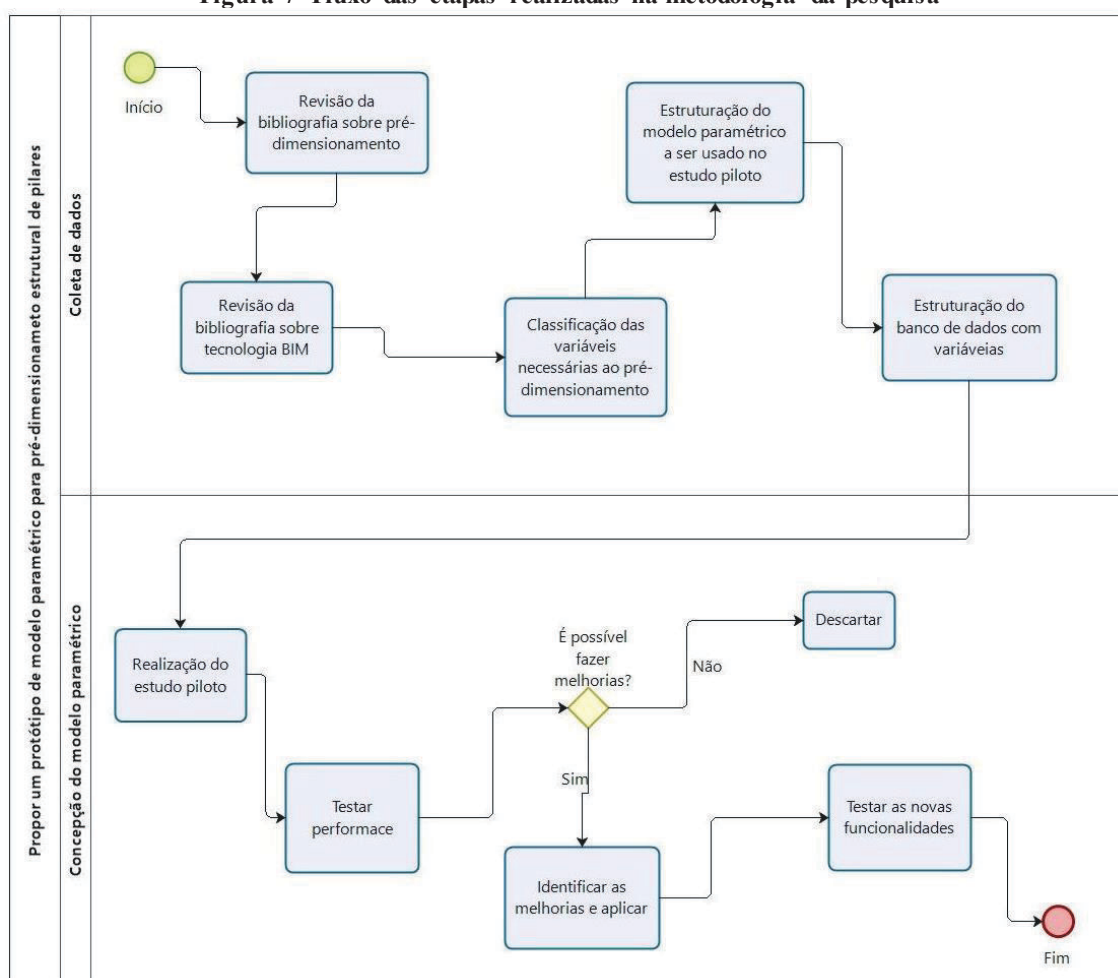
3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Com base no seu objetivo, esta pesquisa pode ser considerada de caráter exploratório, pois pretende mostrar o problema apresentado com a finalidade de entendimento dos seus conceitos e ideias (GIL, 2002).

O procedimento metodológico aplicado neste estudo é considerado experimental onde o objeto de estudo foi submetido a certas variáveis e observado seus resultados. A metodologia foi baseada em aproximações, onde o pré-dimensionamento é realizado com base em formulações simplificadas.

Figura 7- Fluxo das etapas realizadas na metodologia da pesquisa



Fonte: AUTORA, 2019

A pesquisa tem como objeto de estudo a realização do pré-dimensionamento de pilares estruturais a partir do desenvolvimento de um protótipo com um modelo paramétrico com suporte na tecnologia BIM. A Figura 7 apresenta um resumo do fluxo das atividades realizadas nas etapas previstas.

A seguir serão listados e detalhados todos os procedimentos utilizados para a execução metodológica deste trabalho.

3.2 COLETA DE DADOS

Foi realizada uma pesquisa e revisão bibliográfica sobre pré-dimensionamento estrutural, conceituando-o e abordando os principais processos utilizados para o pré-dimensionamento de pilares estruturais e suas etapas.

Em sequência, foi feito o mesmo processo a respeito da tecnologia BIM, expondo suas utilizações, benefícios e o uso de famílias paramétricas. Se fez necessário a realização de uma breve revisão sobre a parametrização de famílias a partir do *software* Revit® e o uso de fórmulas para a parametrização. Essa revisão se deu por meio de materiais disponíveis no *site* da empresa *Autodesk*, de vídeo aulas ministradas por Azevedo (2016), de apostilas desenvolvidas por Lubeley e Mierendorf (2013), e o procedimento metodológico apresentado na defesa de qualificação da dissertação de mestrado de Farias Jr (2017).

Nessa etapa foi feita uma verificação por meio de observações relacionadas a quantidade de variáveis e a técnica utilizada para determinar qual dos processos de pré-dimensionamento estrutural de pilares possuía maior potencialidade para a parametrização de dados no ambiente BIM.

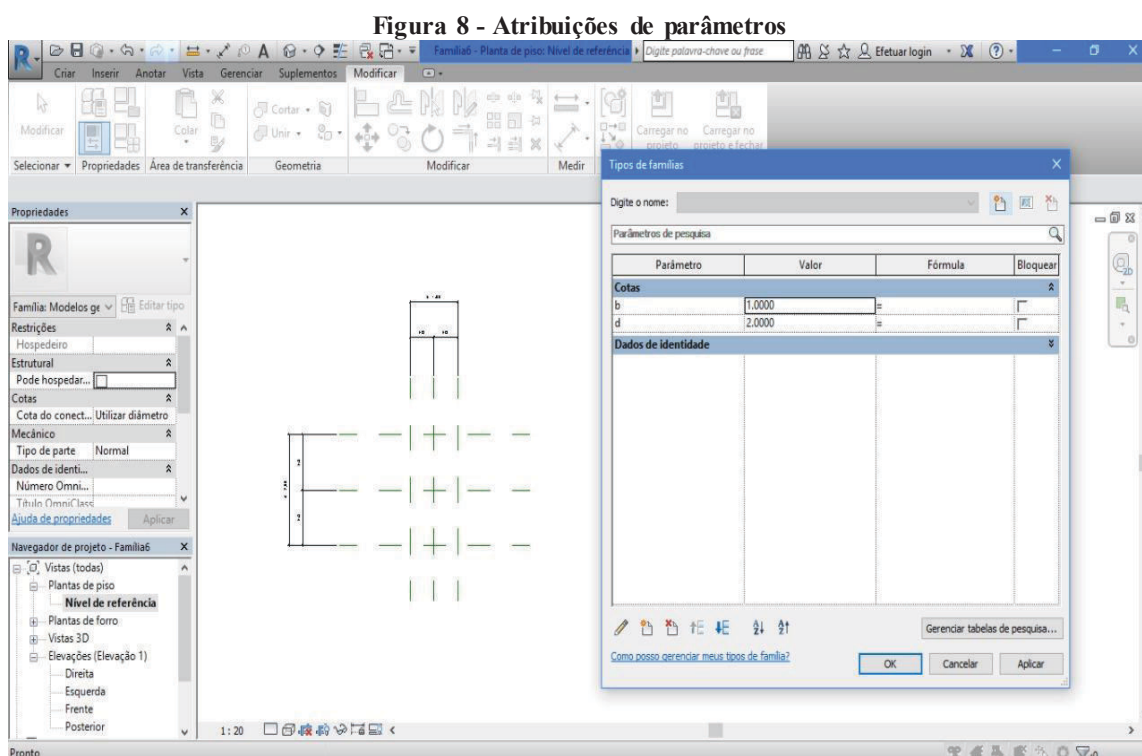
Após a escolha de qual processo utilizar, foi realizado um levantamento de todas as variáveis necessárias ao pré-dimensionamento e com base nessas informações, deu-se início a estruturação do modelo paramétrico e do banco de dados com as variáveis que foram usadas nos *softwares* utilizados para o desenvolvimento do protótipo.

3.3 CONCEPÇÃO DO MODELO PARAMÉTRICO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Para o desenvolvimento dessa etapa, foi utilizada a versão estudantil do *software* Revit® *Architecture* 2017 e o editor de planilhas *Microsoft Excel*®. Como equipamento, foi feito o uso

de um *notebook* Dell com sistema operacional *Windows 10 Home*, com processador *Intel Core i3-3217U*, 1.80GHz e 4GB de Memória RAM, atendendo aos requisitos mínimos sugeridos pela *Autodesk*.

Foi realizado um estudo piloto com o propósito de atribuir e testar parâmetros e fórmulas que vinculassem as variáveis necessárias ao pré-dimensionamento. Para isso, foi trabalhado com um *template* de família com modelo genérico métrico, onde foram atribuídos os planos de referência necessários para a construção de uma família de pilares (Figura 8).



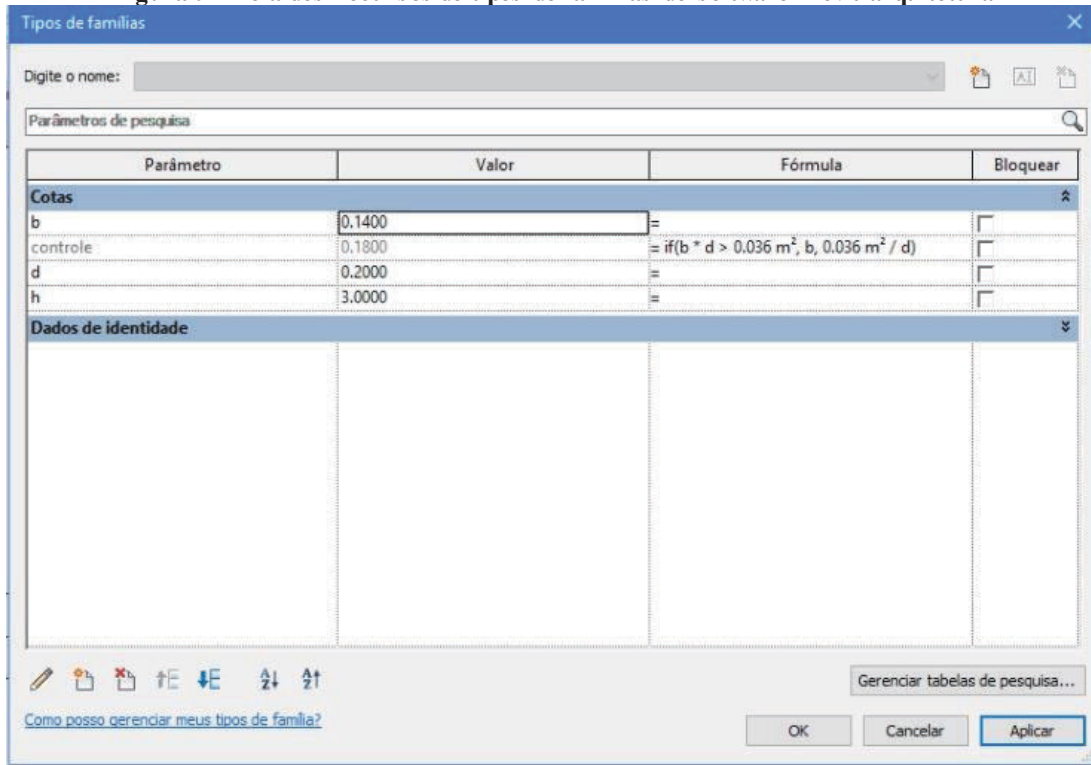
Fonte: AUTORA, 2019

Realizada a modelagem no formato desejado, foram criadas cotas e adicionados os parâmetros relacionados as dimensões transversais e altura do pilar. Dando continuidade ao processo, foi verificada a possibilidade de atribuições de fórmulas na qual pudesse tornar as variáveis das dimensões do pilar em função de sua altura.

Para isso, se fez necessário a verificação de sintaxe válida que o *software* Revit® suporta. Através do *Autodesk Help* foi verificado que o mesmo suporta opções aritméticas, funções trigonométricas, além de valores inteiros, decimais, fracionários e arredondamentos, no ambiente de famílias (Figura 9).

A partir do estudo piloto, foi realizada uma análise que consentisse debater sobre os resultados dos primeiros testes realizados, e dessa maneira, caso fosse necessário, seriam realizados refinamentos e melhorias ou descartes nas funcionalidades dos testes.

Figura 9 - Tela dos recursos de tipos de famílias do software Revit arquitetura



Fonte: AUTORA, 2019

Durante as etapas de refinamento do protótipo, foram realizados testes tanto para os parâmetros quanto para a verificação das tabelas de pesquisa (*Lookup Tables*), criando assim planilhas testes com os parâmetros necessários.

Essas tabelas permitem especificar vários valores de parâmetros que se referem a outro valor sem criar um tipo separado para cada conjunto (LUBELEY; MIERENDORF, 2013). Desta forma, o Revit® utiliza parâmetros especiais e fórmulas para referenciar as informações contidas nessas tabelas.

As *lookup tables* foram criadas com o auxílio do Excel®, onde de acordo com Luberey e Mierendorf (2013), a primeira linha é definida pelo cabeçalho. A primeira coluna corresponde a uma coluna de referência que é responsável pela identificação pela qual cada linha define. A segunda coluna equivale ao valor de pesquisa, é nesta coluna que o Revit® irá tentar corresponder os dados da família aos dados dessa coluna. As demais colunas são referentes as

pesquisas de coluna, que representa o valor que será retornado com base na segunda coluna (Figura 10).

Figura 10 - Formato de uma lookup table

	A	B	C	D	E	F
1		ND1##length##inches	ND2##length##inches	ND3##length##inches	BWid##length##millimeters	FID##length##millimeters
2	0.25x0.25x0.125	0.25	0.25	0.125	5.5	13.7
3	0.125x0.125x0.25	0.125	0.125	0.25	5.1	10.3
4	0.375x0.375x0.25		0.375		5.8	17.1
5	0.375x0.375x0.125		0.375		5.8	17.1
6	0.375x0.25x0.375		0.25		5.8	17.1
7	0.375x0.25x0.25		0.25		5.8	17.1
8	0.25x0.25x0.375	0.25	0.25	0.375	5.5	13.7
9	0.5x0.5x0.375	0.5	0.5	0.375	6.3	21.3
10	0.5x0.5x0.25	0.5	0.5	0.25	6.3	21.3
11	0.5x0.375x0.5	0.5	0.375	0.5	6.3	21.3
12	0.5x0.375x0.375	0.5	0.375	0.375	6.3	21.3
13	0.5x0.25x0.5	0.5	0.25	0.5	6.3	21.3

The Reference Column does not have a column header

Proper formatting in all column headings is critical

Fonte: LUBELEY e MIERENDORF, 2013

Uma fórmula específica é utilizada para se referenciar a tabela de pesquisa:

Size_lookup (Nome da tabela de pesquisa, “Coluna de pesquisa”, Padrão se não for encontrado, Valor de pesquisa) (6)

Segundo a Equação (6), estamos dizendo ao Revit® para procurar na tabela referenciada, em uma coluna (coluna de pesquisa) e retornar o valor dessa coluna correspondente à linha do valor de pesquisa, caso não encontrado, retornar um valor padrão.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Esse capítulo apresenta uma análise do estudo piloto realizado e em seguida são apresentados os resultados atingidos nas etapas de refinamentos durante o desenvolvimento. Tendo como foco principal da discussão, o uso de um protótipo para a parametrização de um pré-dimensionamento estrutural de pilares.

A coleta de dados permitiu a compreensão dos processos de pré-dimensionamento existentes e a escolha de um para ser usado como base de teste e análise do uso da tecnologia BIM como forma de agilizar esse processo. A partir dos resultados obtidos nessa fase, foi definida uma estratégia para o desenvolvimento do protótipo através do *software* Revit® arquitetura.

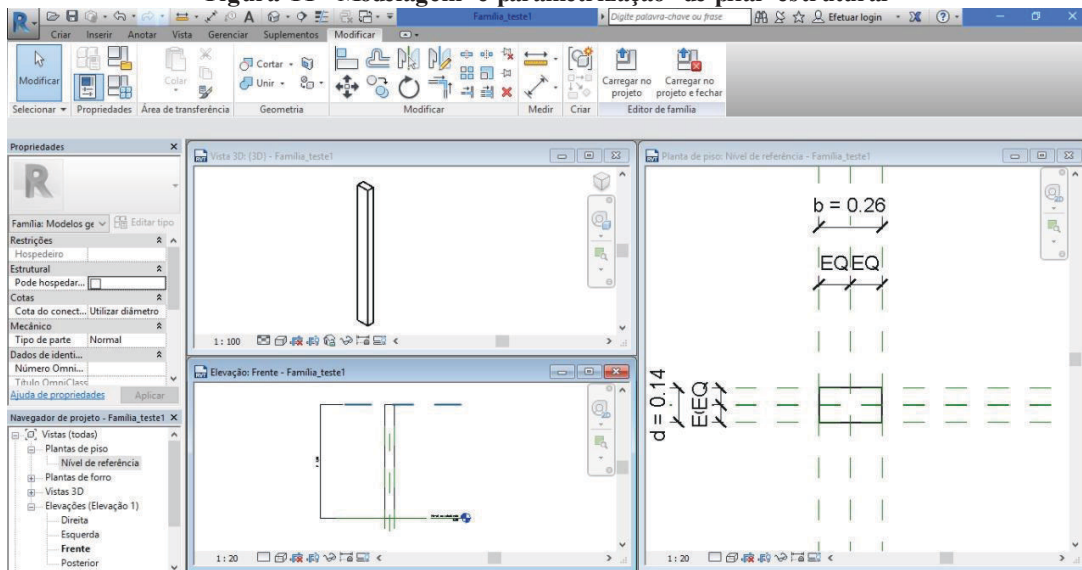
4.1 ESTUDO PILOTO

A partir da verificação de qual método de pré-dimensionamento utilizar com base nos pontos observados, o escolhido foi o do uso de gráficos de Rabello (2000), que se baseia na obtenção da menor dimensão da seção do pilar em função de sua altura não travada. O gráfico utilizado nesse trabalho se refere ao pré-dimensionamento de pilares de edificações de um único andar.

A realização desse procedimento através do uso de famílias paramétricas através do *software* Revit®, juntamente com as *lookup tables* (tabelas de pesquisa), feitas e editadas pelo *Microsoft Excel*® foi a técnica a ser investigada no desenvolvimento do protótipo.

Feita a escolha do método a ser testado e realizada a classificação das variáveis necessárias, chegou-se as seguintes variáveis: a altura do pilar e a menor dimensão da sua seção transversal, que são as duas variáveis apontadas no gráfico (Figura 3), mas além delas, foi observado a necessidade da presença de uma outra variável, a outra dimensão da seção, formando assim a área da seção transversal, que é o objetivo do pré-dimensionamento estrutural de pilares.

Figura 11 - Modelagem e parametrização de pilar estrutural



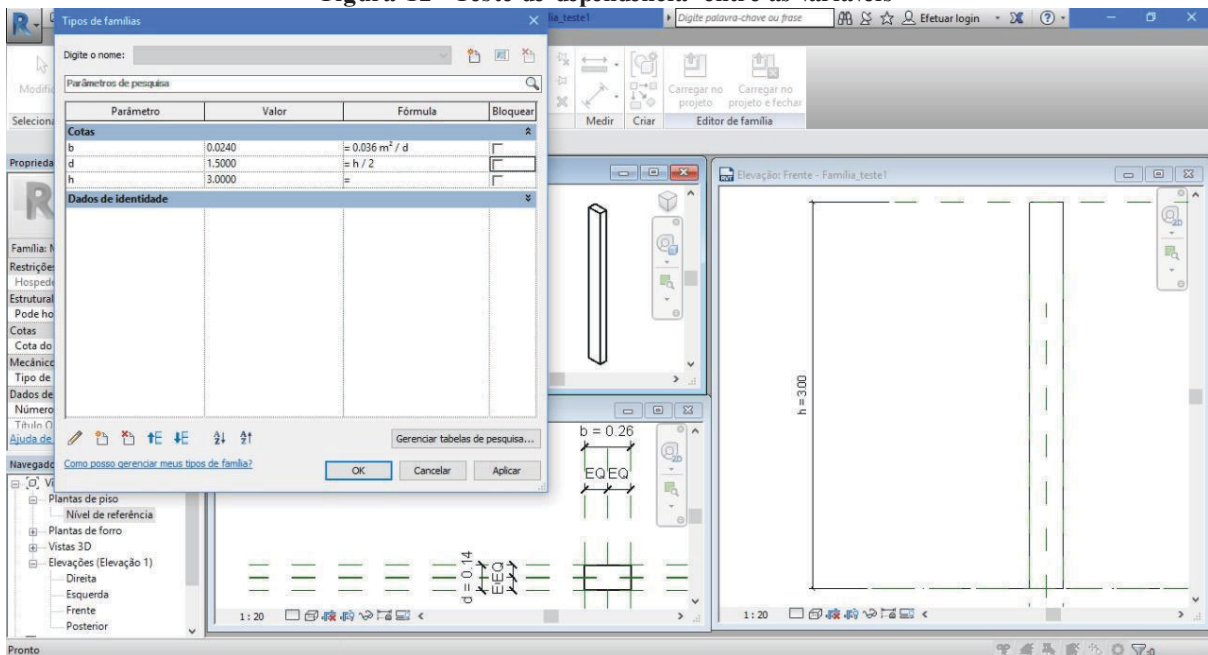
Fonte: AUTORA, 2019

Outro fator observado em relação ao gráfico foi que o mesmo se tratava de uma superfície, onde para cada valor de altura correspondia a uma dimensão mínima e uma dimensão máxima.

Com as primeiras informações necessárias para a montagem do protótipo e realizado o primeiro teste piloto em relação aos parâmetros criados de altura (h), menor dimensão (d) e dimensão (b), foi obtido resultados satisfatórios relacionadas à criação e parametrização do objeto (Figura 11).

A próxima verificação que se mostrou favorável foi a possibilidade de tornar as variáveis em função umas das outras, para isso foram utilizadas fórmulas com funções básicas para realização do teste. Inicialmente foi explorada a dependência da dimensão “ b ” em relação a dimensão “ d ” e da área da seção do pilar. E progressivamente, essas relações de dependência foram sendo aperfeiçoadas (Figura 12).

Figura 12 - Teste de dependência entre as variáveis



Fonte: AUTORA, 2019

4.2 REFINAMENTO DO PROTÓTIPO

Visto que até a última etapa foram obtidos resultados satisfatórios, o desenvolvimento do protótipo teve continuidade com o refinamento das técnicas já utilizadas para que pudesse chegar ao resultado esperado.

A princípio, observou-se que como o gráfico utilizado se tratava de uma superfície com dimensões mínima e máxima para uma dada altura, foi criado mais dois parâmetros de dimensão, o “d_min” e o “d_max”, e a partir disso pensado como trabalhar com esse intervalo dentro do *software*.

Após alguns testes realizados com o objetivo de atribuir uma relação simultânea entre a altura do pilar e as duas dimensões citadas acima, chegou-se ao resultado de que, naquele momento, não foi encontrado nenhuma maneira que conseguisse esse feito. Para sanar o problema, após algumas pesquisas realizadas no *site* da Autodesk, em produtos revit, foi encontrado uma outra solução, a utilização de um parâmetro de controle da variável (“d_controle”), onde poderia restringir o valor de entrada do usuário (“valor_d”) aos intervalos de “d_min” e “d_max” (Figura 13).

Dessa maneira, caso o valor atribuído pelo projetista a variável “valor_d” não correspondesse aos valores dos intervalos das dimensões mínimas e máximas, automaticamente o revit adotaria esses valores através da variável de controle.

Figura 13 - Utilização de fórmula de intervalos com os valores mínimos e máximos

Texto		
tabela	lookup_tables_pilares	=
Cotas		
valor_h	4.4000	=
valor_d	0.2200	=
valor_b	0.1500	=
d_min	0.2000	=
d_max	0.5200	=
d_controle	0.2200	= if(valor_d < d_min, d_min, if(valor_d > d_max, d_max, valor_d))
b_controle	0.2200	=
Dados de identidade		

Fonte: AUTORA, 2019

Outra observação feita detectou que seria necessário obedecer duas condições de restrições muito importantes para a realização do pré-dimensionamento. A primeira é que de acordo com a NBR 6118:2014, como já citado no referencial teórico deste trabalho, não é permitido que a área da seção transversal dos pilares possua valores inferiores a 360 cm² ou 0,36 m² (para um melhor entendimento, todos os valores relacionados a unidades de área foram trabalhados em metros quadrados e unidades lineares em metros, no *software*). E a segunda condição observada é que, de acordo com a bibliografia de Rabello (2000), utilizada como teste (o gráfico), a dimensão de um dos lados da seção do pilar apresentada no gráfico se tratava da menor dimensão que o mesmo poderia ter, sendo assim, obrigatoriamente, a outra dimensão, a que foi chamada de “b” não poderia ser menor que “d_controle”.

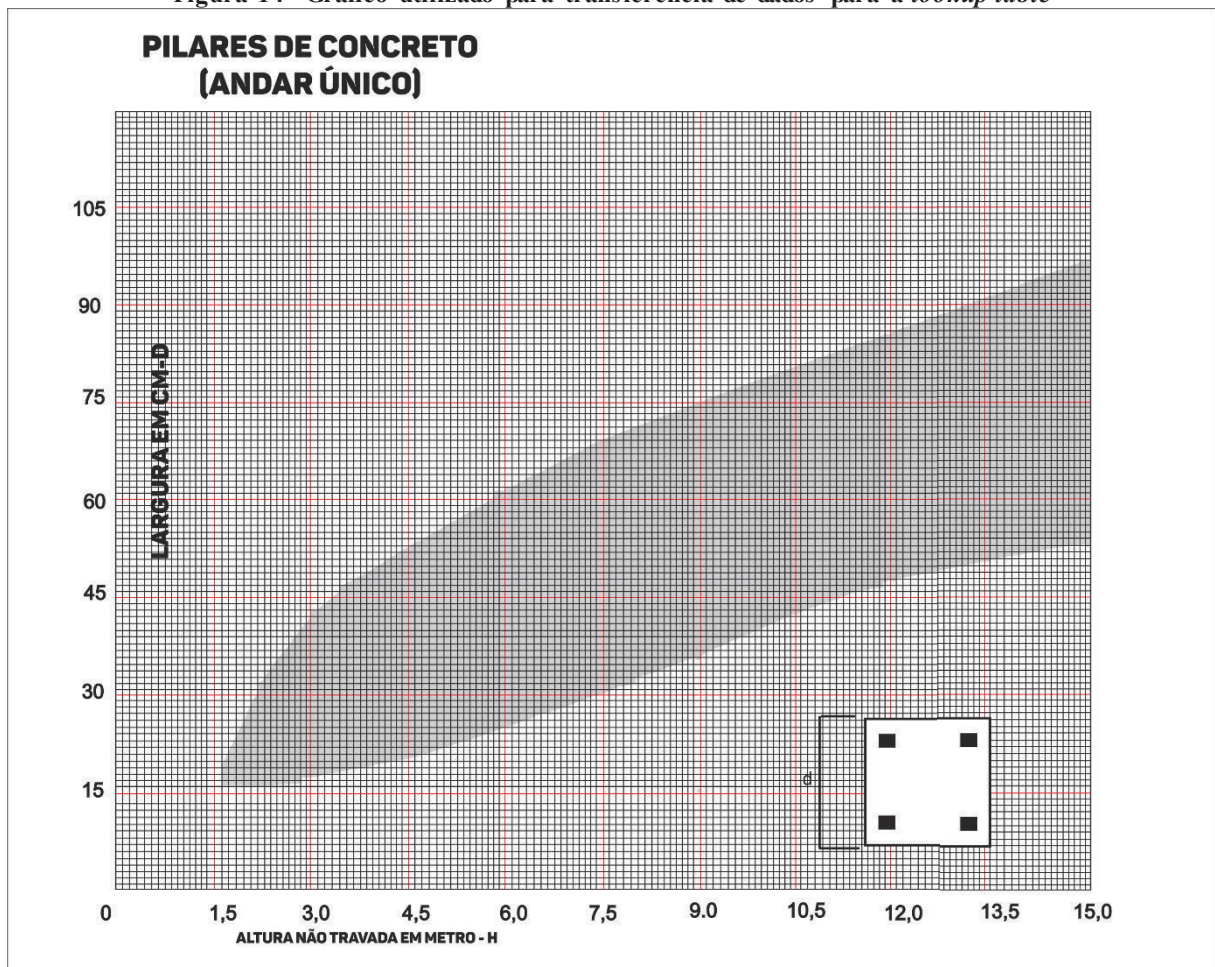
Para que essas condições fossem obedecidas, foi necessário a utilização de fórmulas condicionais dentro da família de pilares que, ao ser inserido o valor da variável “valor_b” pelo usuário, o Revit pudesse identificar se o valor sugerido era satisfatório as restrições impostas. Para isso, foi criado mais um parâmetro, denominado de “b_controle”, que age em função de “d_controle” e “d_min” de acordo com sua altura (“valor_h”). Assim, a medida que os valores de “valor_b” fossem inseridos pelo usuário, os mesmos passariam por uma verificação das restrições citadas acima através da variável “b_controle” e caso a condição não fosse satisfatória, o valor inserido naquela variável seria o calculado que obedecesse às restrições impostas.

As formulações finais utilizadas para todas as variáveis do processo de parametrização dos pilares deram-se por inúmeras repetições de tentativas e erros. As mesmas estão inseridas no Apêndice A.

Verificadas e solucionadas todas as questões relacionadas a parametrização das variáveis dentro do ambiente de edição das famílias do revit, o próximo passo realizado foi correspondente ao teste da função de uma fórmula (Equação 6) que estrutura os valores dos parâmetros da família em formato de banco de dados, as tabelas de pesquisa (*lookup tables*).

Para a realização desse passo, foi necessário transferir os dados presentes no gráfico para uma planilha. A transferência desses dados foi realizada manualmente, mas como se pode perceber na Figura 3, a técnica utilizada estaria apta a geração de grandes erros, devido ao grande intervalo de valores destacados no gráfico. Uma solução encontrada como tentativa de diminuição do erro foi aumentar a malha do gráfico utilizando uma ferramenta de *desing gráfico*, o *Corel Draw*. Essa ferramenta foi capaz de diminuir os intervalos entre os números presentes no gráfico e facilitar a visualização das interseções, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Gráfico utilizado para transferência de dados para a *lookup table*



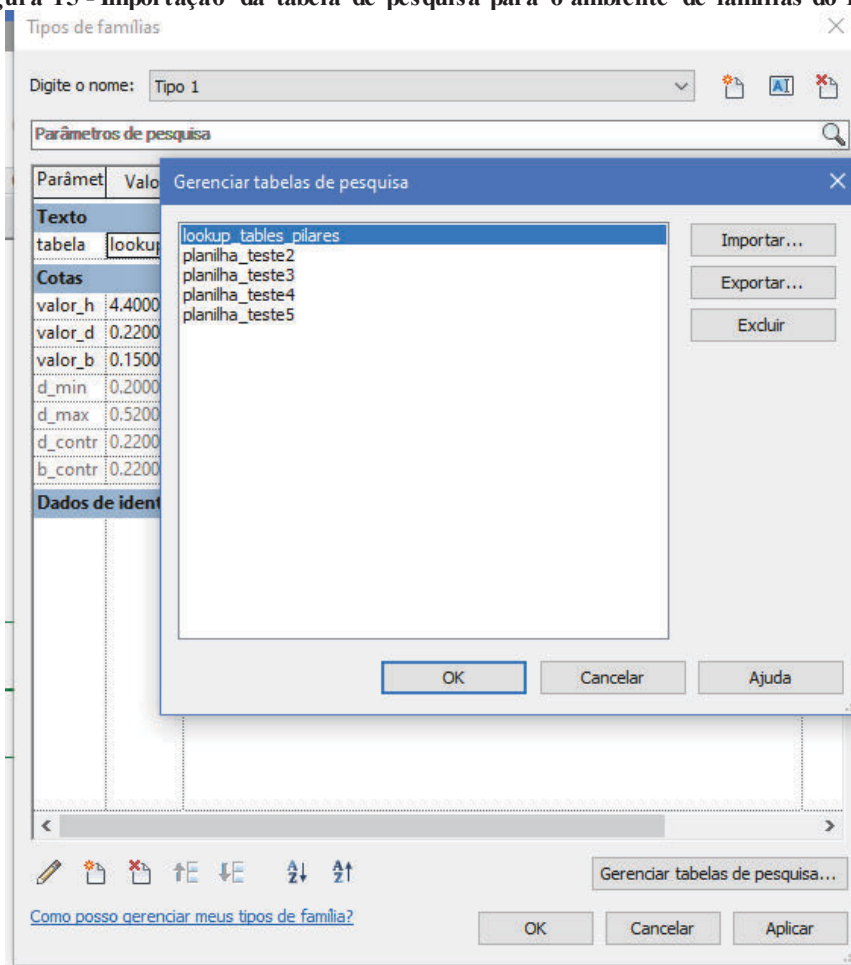
Fonte: ADAPTADO DE RABELLO 2000

O banco de dados dessa tabela foi preparado a partir de uma planilha criada pelo excel®, onde seu formato está explicado no final do tópico 3.4 deste trabalho. A base dos dados dessa

tabela foram as variáveis utilizadas para a realização do pré-dimensionamento. Após a criação, essa planilha foi importada para o Revit em formato de CSV. (Figura 15)

As tabelas de pesquisa possuem algumas particularidades na estruturação dos seus dados, como já citado anteriormente, dessa forma todas as orientações feitas por Luberey e Mierendorf (2013) foram seguidas para que a planilha pudesse retornar seus dados de acordo com a sintaxe da fórmula da função *lookup table*.

Figura 15 - Importação da tabela de pesquisa para o ambiente de famílias do Revit



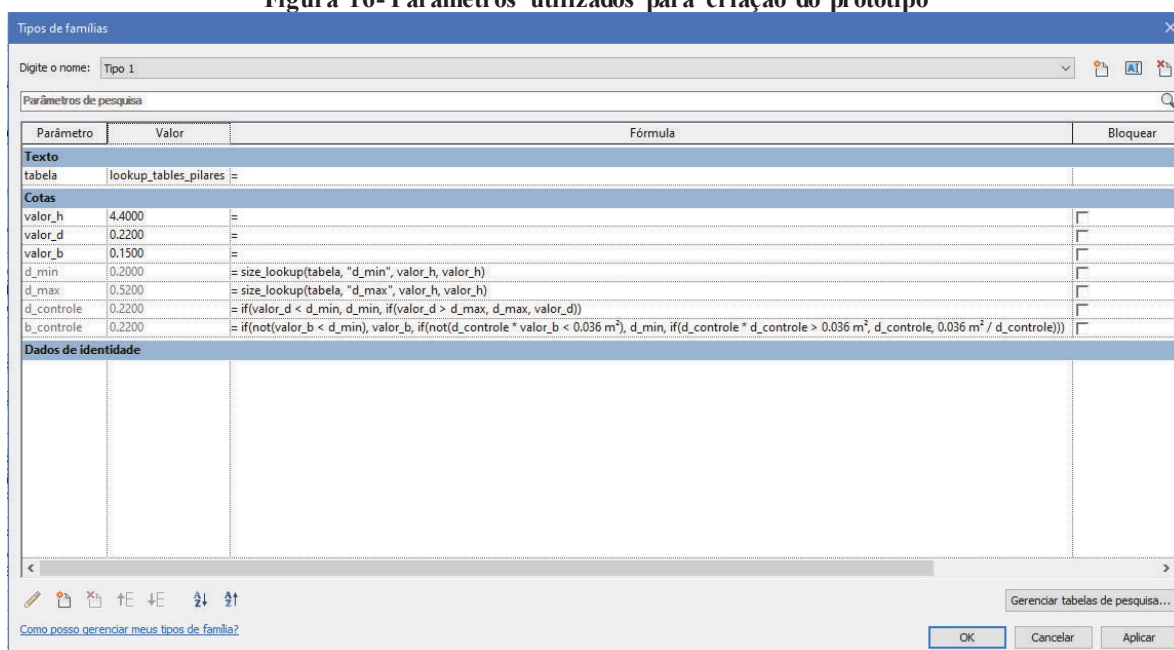
Fonte: AUTORA, 2019

Foi criado um total de oito parâmetros, como mostra a Figura 16, onde os três primeiros são dados de entrada que devem ser inseridos manualmente pelo usuário, atentando-se para os valores de “valor_d” e “valor_b” que serão controlados respectivamente por “d_controle” e “b_controle”. Lembrando que esses dois últimos foram dirigidos por fórmulas condicionais para atender os critérios já mencionados acima. E por último, os parâmetros que serão

resgatados pelo revit e que foram utilizados com base na tabela de pesquisa através do valor de pesquisa (“valor_h”).

Ao final de todos os procedimentos realizados para criação do um protótipo que utilizasse modelos paramétricos durante a execução de um pré-dimensionamento estrutural de pilares, foram obtidos resultados satisfatórios, pois todas as exigências durante o processo foram obedecidas, garantindo que o pré-dimensionamento fosse realizado parcialmente automatizado (devido a entrada manual de algumas das variáveis) e não mais manual, como era feito pelos autores já citados no referencial teórico.

Figura 16- Parâmetros utilizados para criação do protótipo



Fonte: AUTORA, 2019

Para um melhor entendimento do processo de desenvolvimento desse trabalho, no Apêndice C pode-se ter acesso a todas as funcionalidades e etapas do uso da família paramétrica para a modelagem do elemento estrutural utilizado como teste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou o trabalho de pesquisa, constatou-se que a dificuldade de realização de um pré-dimensionamento estrutural feito por arquitetos estava relacionada principalmente pela falta de bibliografias, normas e a carência de procedimentos simplificados, onde todo o conhecimento era resultado da experiência adquirida ao longo tempo. Dessa forma, com o objetivo de facilitar esse processo, foi realizado a análise do uso de modelos paramétricos durante a produção de um pré-dimensionamento estrutural de pilares através de famílias paramétricas em ambiente BIM.

Com base nos resultados apresentados, o presente trabalho teve seu objetivo alcançado, uma vez que foi desenvolvido um *protótipo* de um modelo paramétrico de pré-dimensionamento de pilares com suporte na tecnologia BIM que realizou esse processo de maneira parcialmente automatizada e eficiente.

A pesquisa partiu da hipótese de que se era possível realizar o pré-dimensionamento de um elemento estrutural com o auxílio de uma ferramenta com suporte na tecnologia BIM. Durante o trabalho verificou-se que, por meio de pesquisas e revisões bibliográficas, era possível executar esse processo com o emprego de famílias paramétricas e tabelas de pesquisas, então fez-se o teste, confirmando a hipótese.

Um ponto importante é que o gráfico utilizado não contempla as dimensões de 14 cm e 15 cm, mas de acordo com a norma regulamentadora, é possível se utilizar desses valores para o pré-dimensionamento de pilares, podendo assim ser sugerido como uma melhoria para o protótipo.

Como recomendações futuras, com uma pesquisa mais ampla na bibliografia de tecnologia BIM poderá ser realizada melhoria do protótipo informando através de texto, que o teste realizado se tratava de um pré-dimensionamento estrutural de pilares para edificações de andar único. E mais a fundo, com algumas melhorias e refinamentos, a utilização de uma maior quantidade de pavimentos e carregamentos. Além do uso do protótipo em outros elementos estruturais e até mesmo em outros tipos de procedimento para realização de pré-dimensionamento estrutural. Também recomenda-se validar o uso do protótipo com profissionais da área.

Assim, a utilização de *softwares* que produzem modelos paramétricos com o objetivo de executar o pré-dimensionamento estrutural de uma edificação visa facilitar esse processo para os profissionais com pouca experiência na área, sendo possível obter construções com

maior aproveitamento de espaço, menores erros de compatibilização, garantindo uma economia de tempo e recursos.

REFERÊNCIAS

ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Santa Maria, 2007. Anais... Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. BIM: conceitos, cenários das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. **In: IX WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**. Anais... São Carlos: USP, 2009.

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

AUFIERI, F. A. **Diretrizes para o dimensionamento e detalhamento de pilares de edifícios em concreto armado**. (Dissertação de Mestrado), Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1997.

AUTODESK HELP **Abreviatura e sintaxe válida de fórmulas**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Model/files/GUID-B37EA687-2BDF-4712-9951-2088B2A8E523-htm.html>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

AUTODESK HELP **Sobre tabelas de pesquisa**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-Customize/files/GUID-91270AEF-225A-49D7-BF84-1F44D1E3E216-htm.html>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

AUTODESK HELP **Utilizar declarações condicionais em fórmulas**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-Model/files/GUID-A0FA7A2C-9C1D-40F3-A808-73CD0A4A3F20-htm.html>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

AUTODESK. **Projetando e construindo melhor com o BIM**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/solutions/bim>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

AZEVEDO, M. **Playlist parametrização de famílias**. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0gTbxDjHoBE&list=PLSVTiOhWh4JE7-JzmbVKhVVgtQZEQe0HY>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

BACARJI, E. **Análise de estruturas de edifícios: projeto de pilares**. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Estruturas, USP, São Carlos, 1993.

BARBOSA, A. C. M. **A metodologia BIM aplicada a um caso prático: Construção de uma ETAR na Argélia**. (Dissertação de Mestrado), Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Pilares de concreto armado**. (Notas de aula), Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, UNESP, Bauru, 2017.

BIM NA PRÁTICA. **Revit é BIM?** Disponível em: < <https://bimnapratica.com/blog/revit-e-bim>>. Acesso em 07 jul. 2019.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: vol. 2. São Paulo: PINI, 2009.

CORRÊA, R. M.; NAVEIRO, R. M. Importância do ensino da integração dos projetos de arquitetura e estrutura de edifícios: fase de lançamento das estruturas. **In: III WORKSHOP GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**. Anais... São Carlos: USP, 2001.

CRUZ, G. S. **Compatibilização de projetos com uso de ferramentas BIM**. (Trabalho de conclusão de curso), CTC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CUNHA, J. **Estruturas de concreto**. (Notas de aula), Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

EASTMAN, C. et al. **Manual do BIM** - Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014, 13 p.

FARIAS JUNIOR, Antonio Gonçalves de (mestrando); SILVA, Carlos Alejandro Nome (orientador). O que é possível construir no seu terreno: Protótipo para verificação automática para ensaios de estudos de viabilidade arquitetônica em conformidade com parâmetros urbanos. **In: BANCA DE QUALIFICAÇÃO**, 2017.1., 2017, João Pessoa. Relatórios de Qualificação. UFPB: PPGAU, 2017. p. 1 - 70

FLORIO, W. Contribuições do *Building Information Modeling* no processo de projeto em arquitetura. **In: III ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, Porto Alegre, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOES, R. H.; SANTOS, E. T. Compatibilização de projetos: comparação entre o BIM e o CAD 2D. **In: TIC 2011: 5º ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Anais, Salvador, 2011.

GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil**. 4. ed. São Paulo: PINI, 2004.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. **BIM – Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: [s.n], 2015. Disponível em: <http://sector.dia logues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>. Aceso em: 16 jun. 2019.

LUBELEY, K.; MIERENDORF, E. **Making Full Use of the Power of Lookup Tables**. Las Vegas, Autodesk University, 2013.

MAINARDI, I. Revit: **famílias paramétricas**, São Paulo, Autodesk University, 2011.

MANCINI, L. C. **Pré-dimensionamento de estruturas metálicas em fase de concepção arquitetônica**. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.

MELO, P. R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, FECIV, Uberlândia, 2013.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 18, n.22, 21º sem, 2011.

MORENO JUNIOR, A. L. **Lançamento da estrutura de um edifício: posicionamento e pré-dimensionamento de seus elementos estruturais**. Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de estruturas, UNICAMP, Campinas, 1993.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (NIBS), 2007. Disponível em: <<https://www.nibs.org/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, USP, São Carlos, 2007.

PIRES, G. M. **Estudo do pré-dimensionamento de pilares**. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Ijuí, 2011.

RABELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

RABELLO, Y. C. P. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2007.

REIS, F. A. N. **Procedimentos simplificados para pré-dimensiamento de pilares pré-moldados de concreto**. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Carlos, 2012.

SANTOS, E. T. BIM – *Building Information Modeling*: um salto para a modernidade na aplicação da Tecnologia da Informação à Construção Civil. **In: CRIAÇÃO, REPRESENTAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DIGITAIS: TECNOLOGIAS DIGITAIS DE CRIAÇÃO, REPRESENTAÇÃO E VISUALIZAÇÃO NO PROCESSO DE PROJETO**. 1ed. Brasília: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2012.

RIBEIRO, R. R.; CÉSAR JÚNIOR, K. L; M. O potencial da aplicação de BIM ao projeto de estruturas de concreto. **In: 60º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC**.

SILVA, J. M. S. **Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM:** avaliação de melhorias práticas e proposta de regras de modelação para projetos de estruturas. (Dissertação de Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

APÊNDICE A – FÓRMULAS UTILIZADAS PARA OS PARÂMETROS

Para dimensão mínima

Size_lookup(tabela, "d_min", valor_h, valor_h)

Para dimensão máxima

Size_lookup(tabela, "d_max", valor_h, valor_h)

Para b_controle

if(not(valor_b < d_min), valor_b, if(not(d_controle * valor_b < 0.036 m²), d_min, if(d_controle * d_controle > 0.036 m², d_controle, 0.036 m² / d_controle)))

Para d_controle

if(valor_d < d_min, d_min, if(valor_d > d_max, d_max, valor_d))

APÊNDICE B – BANCO DE DADOS DA TABELA DE PESQUISA

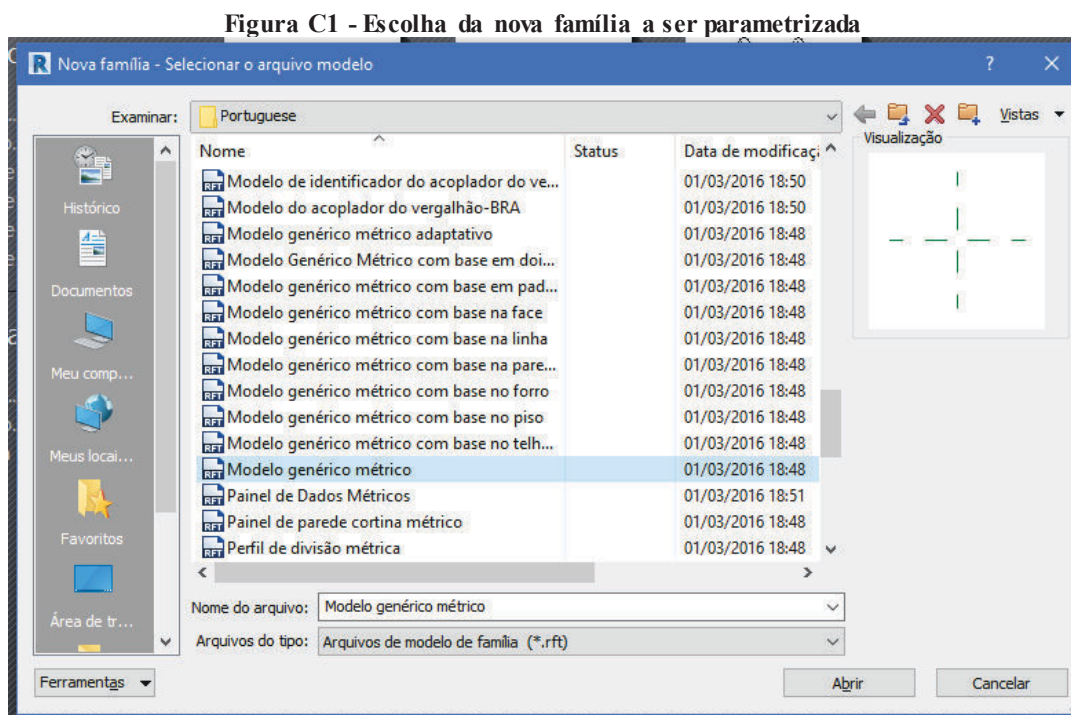
	valor_h##length##meters	d_min##length##meters	d_max##length##meters
Altura_col_1,6	1.60	0.16	0.20
Altura_col_1,7	1.70	0.16	0.21
Altura_col_1,8	1.80	0.16	0.23
Altura_col_1,9	1.90	0.16	0.26
Altura_col_2,0	2.00	0.16	0.29
Altura_col_2,1	2.10	0.16	0.32
Altura_col_2,2	2.20	0.16	0.33
Altura_col_2,3	2.30	0.16	0.34
Altura_col_2,4	2.40	0.16	0.36
Altura_col_2,5	2.50	0.16	0.37
Altura_col_2,6	2.60	0.16	0.38
Altura_col_2,7	2.70	0.16	0.39
Altura_col_2,8	2.80	0.17	0.40
Altura_col_2,9	2.90	0.18	0.41
Altura_col_3,0	3.00	0.18	0.42
Altura_col_3,1	3.10	0.18	0.43
Altura_col_3,2	3.20	0.18	0.44
Altura_col_3,3	3.30	0.18	0.45
Altura_col_3,4	3.40	0.19	0.46
Altura_col_3,5	3.50	0.19	0.47
Altura_col_3,6	3.60	0.19	0.48
Altura_col_3,7	3.70	0.19	0.49
Altura_col_3,8	3.80	0.19	0.49
Altura_col_3,9	3.90	0.20	0.50
Altura_col_4,0	4.00	0.20	0.50
Altura_col_4,1	4.10	0.20	0.51
Altura_col_4,2	4.20	0.20	0.51
Altura_col_4,3	4.30	0.20	0.52
Altura_col_4,4	4.40	0.20	0.52
Altura_col_4,5	4.50	0.21	0.53
Altura_col_4,6	4.60	0.21	0.53
Altura_col_4,7	4.70	0.21	0.54
Altura_col_4,8	4.80	0.21	0.54
Altura_col_4,9	4.90	0.22	0.55
Altura_col_5,0	5.00	0.22	0.56
Altura_col_5,1	5.10	0.22	0.57
Altura_col_5,2	5.20	0.23	0.57
Altura_col_5,3	5.30	0.23	0.58
Altura_col_5,4	5.40	0.23	0.58
Altura_col_5,5	5.50	0.24	0.58

Altura_col_5,6	5.60	0.24	0.58
Altura_col_5,7	5.70	0.24	0.59
Altura_col_5,8	5.80	0.25	0.61
Altura_col_5,9	5.90	0.25	0.62
Altura_col_6,0	6.00	0.25	0.63
Altura_col_6,1	6.10	0.26	0.63
Altura_col_6,2	6.20	0.26	0.64
Altura_col_6,3	6.30	0.26	0.64
Altura_col_6,4	6.40	0.27	0.65
Altura_col_6,5	6.50	0.27	0.65
Altura_col_6,6	6.60	0.27	0.66
Altura_col_6,7	6.70	0.28	0.68
Altura_col_6,8	6.80	0.28	0.68
Altura_col_6,9	6.90	0.28	0.68
Altura_col_7,0	7.00	0.29	0.69
Altura_col_7,1	7.10	0.29	0.69
Altura_col_7,2	7.20	0.29	0.70
Altura_col_7,3	7.30	0.30	0.70
Altura_col_7,4	7.40	0.30	0.71
Altura_col_7,5	7.50	0.30	0.72
Altura_col_7,6	7.60	0.31	0.73
Altura_col_7,7	7.70	0.31	0.73
Altura_col_7,8	7.80	0.32	0.74
Altura_col_7,9	7.90	0.32	0.74
Altura_col_8,0	8.00	0.33	0.75
Altura_col_8,1	8.10	0.33	0.75
Altura_col_8,2	8.20	0.34	0.75
Altura_col_8,3	8.30	0.34	0.76
Altura_col_8,4	8.40	0.34	0.76
Altura_col_8,5	8.50	0.35	0.76
Altura_col_8,6	8.60	0.35	0.77
Altura_col_8,7	8.70	0.35	0.77
Altura_col_8,8	8.80	0.36	0.78
Altura_col_8,9	8.90	0.36	0.78
Altura_col_9,0	9.00	0.36	0.79

APÊNDICE C – TUTORIAL DE USO DA FAMÍLIA PARAMÉTRICA

Para realizar a modelagem e parametrização da família de pilares com o uso do *software* Revit® *Architecture* foram seguidos alguns passos que serão detalhadas logo abaixo.

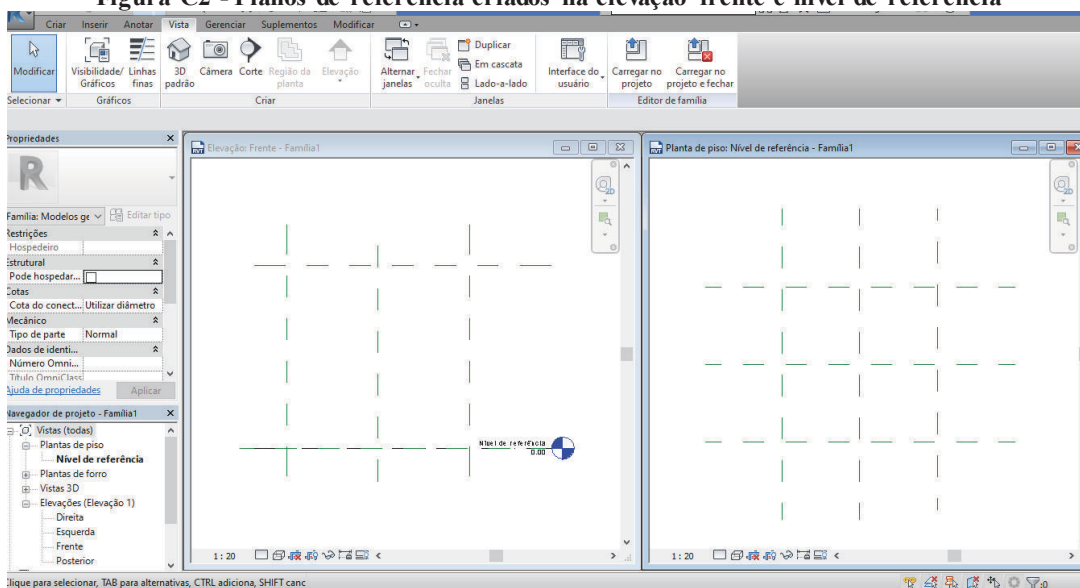
- a) Passo 1: com o revit aberto, deve-se criar uma nova família de modelo genérico métrico, que vai aparecer exatamente como é mostrada na Figura C1. Após a criação da família, é essencial que se verifique se as unidades do *software* estejam de acordo com as trabalhadas, caso não estejam, é necessário mudar. No trabalho foram utilizadas a unidade linear em metros e unidade de área em metros quadrados (m²), ambas ajustadas com duas casas decimais.



Fonte: AUTORA, 2019

- b) Passo 2: o próximo passo corresponde a criação e nomeação de novos planos de referência (✏️), com a finalidade de travar os parâmetros e definir os movimentos e alinhamentos. Devem ser criados planos na vista de planta de piso, que já vem alimentado com o nível de referência, e na elevação de frente. (Figura C2).

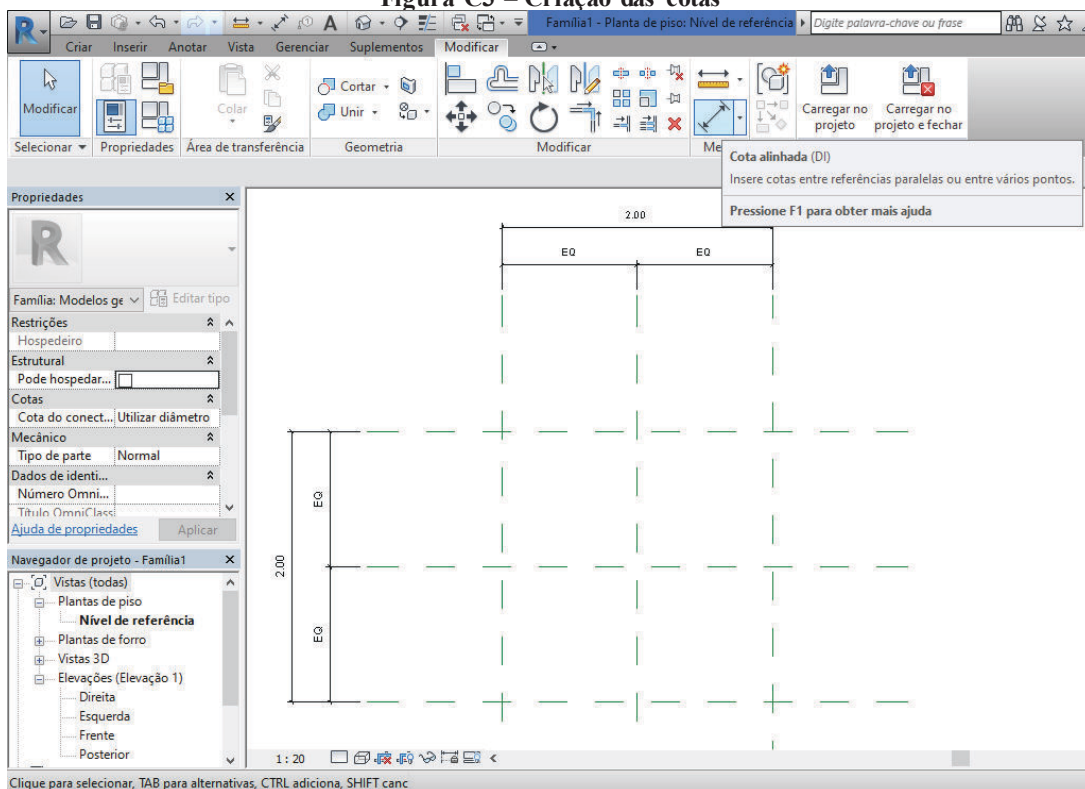
Figura C2 - Planos de referência criados na elevação frente e nível de referência



Fonte: AUTORA, 2019

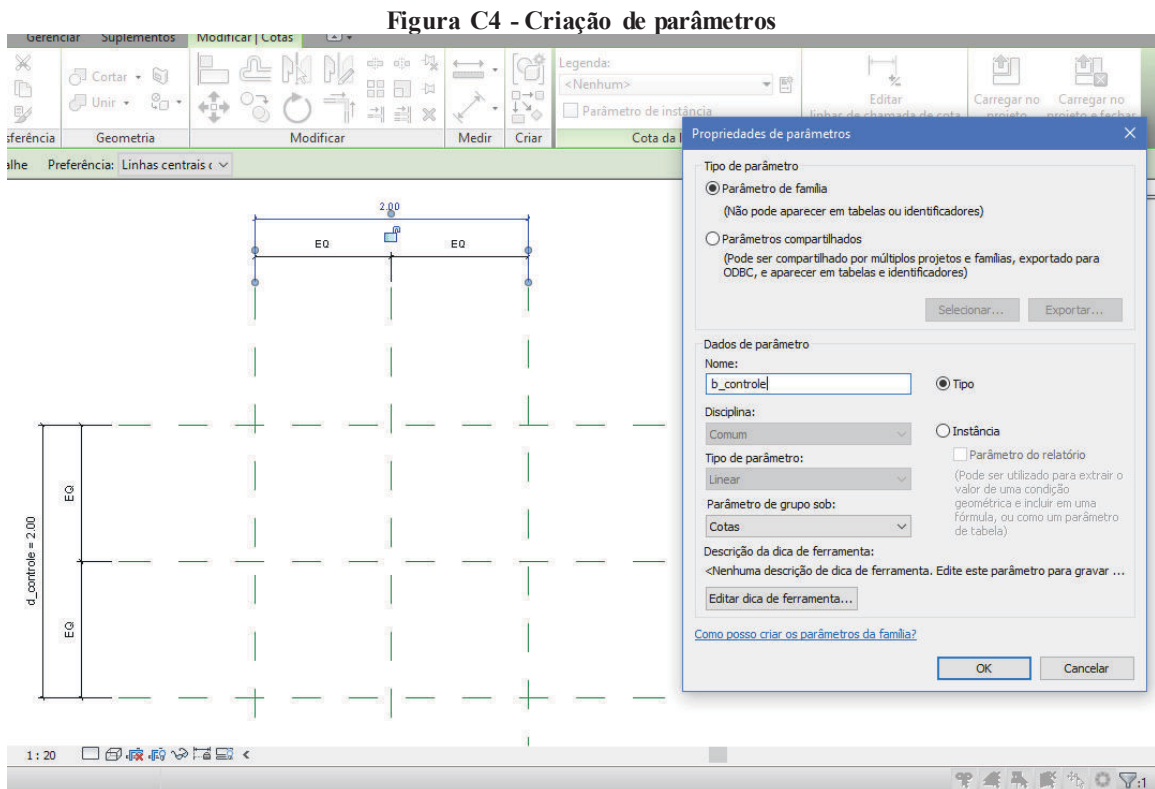
- c) Passo 3: deve-se inserir as cotas entre os planos de referência, tanto verticalmente, quanto horizontalmente. Esse processo deve ser realizado para ambas as vistas, atentando-se para tornar as cotas equidistantes um das outras. (Figura C3).

Figura C3 – Criação das cotas



Fonte: AUTORA, 2019

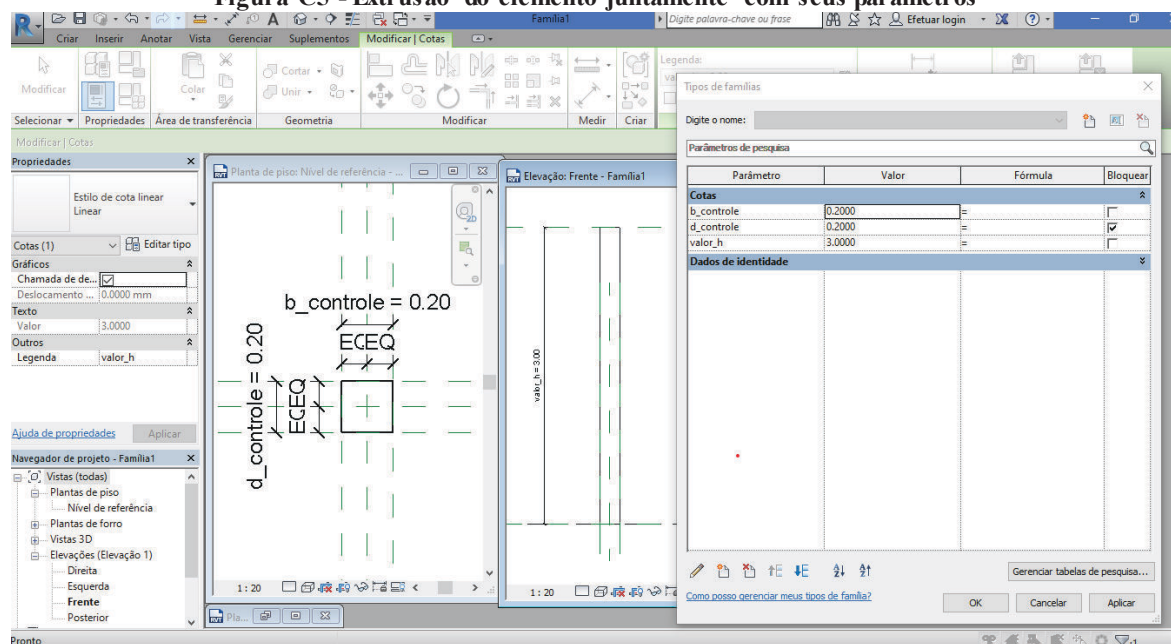
- d) Passo 4: após inserir as cotas, clica-se em uma delas e em legendas para criar um novo parâmetro, exatamente com o nome da variável desejada pelo usuário. Esse processo deve ser repetido em todas as cotas. (Figura C4). Será através dos parâmetros que poderá criar as dimensões dos elementos da família.



Fonte: AUTORA, 2019

- e) Passo 5: nesse último passo deve-se trabalhar a extrusão do elemento, dando forma ao pilar. Definido o plano base de onde será criado o elemento, na aba criar, clica-se em extrusão > retângulo e modela-se o elemento, os cadeados devem ser fechados para que o desenho fique atrelado aos planos. Após isso, é necessário alinhar o elemento ao plano de referência para assegurar que outras modificações não interfiram. Figura C5.

Figura C5 - Extrusão do elemento juntamente com seus parâmetros



Fonte: AUTORA, 2019

Dessa forma, o projeto foi parametrizado e pronto para utilização das formas condicionais que vinculassem as variáveis.