



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL VAZ VIANA

MODELAGEM DE OBJETOS BIM:
ESTUDO DE CASO COM ELEMENTOS ESTRUTURAIS PRÉ-
FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO

Palmas/TO
2022

GABRIEL VAZ VIANA

**MODELAGEM DE OBJETOS BIM:
ESTUDO DE CASO COM ELEMENTOS ESTRUTURAIS PRÉ-
FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Me. Fernando Moreno Suarte Júnior

Palmas/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

V614m Viana, Gabriel Vaz.
Modelagem de objetos BIM: estudo de caso com elementos estruturais
pré-fabricados de concreto armado . / Gabriel Vaz Viana. – Palmas, TO, 2022.
66 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2022.
Orientador: Fernando Moreno Suarte Júnior

1. BIM. 2. Pré-fabricação. 3. Parametrização. 4. Revit. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

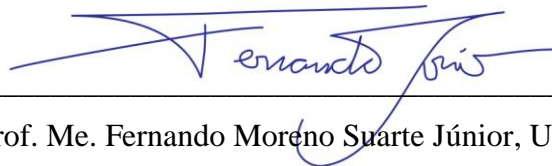
GABRIEL VAZ VIANA

MODELAGEM DE OBJETOS BIM ESTUDO DE CASO COM ELEMENTOS ESTRUTURAIS PRÉ- FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora



Prof. Me. Fernando Moreno Suarte Júnior, UFT

Prof.º Esp. Rafael Azevedo Lino, UFT

Eng. Civil Elker Pires da Silva Rocha,

Palmas, 2022

RESUMO

O *Building Information Modeling* representa uma metodologia disruptiva no contexto do desenvolvimento de projetos do setor de arquitetura, engenharia e construção. As diversas vantagens do uso dessa novidade implicam ganhos em termos de produtividade e redução de erros e retrabalhos. Nesse contexto, diversas fabricantes do nicho da construção civil buscam desenvolver bibliotecas de objetos BIM para facilitar a especificação de seus produtos pelos projetistas. Essa tendência deve ser especialmente interessante para a indústria da pré-fabricação, visto que as especificidades projetuais desse método construtivo podem ser atendidas através das várias funcionalidades oferecidas pelo BIM. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo geral explorar as possibilidades de aliar essa metodologia à pré-fabricação, através da parametrização de objetos BIM que representem elementos estruturais pré-fabricados. Para tanto, foi utilizado o software Autodesk Revit na criação de famílias paramétricas que representam produtos de fornecedores locais previamente pesquisados. Aplicando os arquivos resultantes em um modelo BIM, foi possível atestar a praticidade da edição paramétrica de objetos do modelo, bem como apontar as possibilidades de extrair informações para análises e geração de tabelas de forma automatizada e inteligente. Assim, é válido ressaltar que o modelo tridimensional baseado em objetos paramétricos consiste em apenas uma das diversas potencialidades que o BIM pode oferecer, sendo possível explorar aplicações em outras áreas da engenharia como orçamentação, planejamento e análises diversas.

Palavras-chaves: BIM. Pré-fabricação. Famílias. Revit. Parametrização.

ABSTRACT

Building Information Modeling represents a disruptive methodology in the context of project development in architecture, engineering and construction. The various advantages of using this novelty imply gains in terms of productivity and reduction of errors and rework. In this context, several manufacturers in the civil construction sector seek to develop libraries of BIM objects to facilitate the specification of their products by designers. This trend should be especially interesting for the prefabrication industry, since the design specificities of this construction method can be met through the various functionalities offered by BIM. Thus, the present work has the general objective of exploring the possibilities of combining this methodology with prefabrication, through the parameterization of BIM objects that represent prefabricated structural elements. For that, Autodesk Revit was used to create parametric families that represent products from previously researched local suppliers. Applying the resulting files in a BIM model, it was possible to attest the practicality of parametric editing of model objects, as well as to point out the possibilities of extracting information for analysis and generation of tables in an automated and intelligent way. Thus, it is noticeable that the three-dimensional model based on parametric objects consists of just one of the many potentialities that BIM can offer, making it possible to explore applications in other areas of engineering such as budgeting, planning and various analyses.

Key-words: BIM. Prefabrication. Families. Revit. Parameterization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Obra da Paróquia Coração de Maria, na ARSO 32	15
Figura 2 - Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	16
Figura 3 - Modelo virtual de construção	18
Figura 4 - Tempo de experiência em BIM entre as empreiteiras (por região/país).....	21
Figura 5 - Ciclo de vida de um empreendimento da construção civil	22
Figura 6 - Simulação de manutenção no <i>Howard Hughes Medical Center</i> com uso de modelo BIM 6D.....	24
Figura 7 - Diferentes níveis de detalhamento geométrico para o mesmo componente.....	26
Figura 8 - Exemplos de sistemas em esqueleto	32
Figura 9 - Elementos pré-moldados para piso	33
Figura 10 - Sistemas “pré-laje”	33
Figura 11 - Sistemas de parede com painéis pré-moldados.....	34
Figura 12 - Sistemas celulares	34
Figura 13 - Laço chumbado.....	36
Figura 14 - Armadura saliente e concreto moldado no local.....	37
Figura 15 - Consolos e dentes Gerber	37
Figura 16 - Exemplos de ligação pilar-fundação.....	38
Figura 17 - Ligação viga-pilar com chumbadores e elastômero	38
Figura 18 - Localização das empresas pesquisadas.....	40
Figura 19 - Instalações da fábrica da Premoll	41
Figura 20 - Peças fabricadas pela Ipasa.....	41
Figura 21 - Peças fabricadas pela Terra Branca	42
Figura 22 - Pilar de seção “H” fabricado pela Contru-Pré	42
Figura 23 - Peças fabricadas pela Durax	43
Figura 24 - Medições da seção do pilar cilíndrico (a) e do pilar de cabeça dupla (b).....	43
Figura 25 - Ferramentas de “Formas”	45
Figura 26 - Extrusão e formas de vazio	46
Figura 27 - Ícone de cadeado que vincula face e plano de referência	46
Figura 28 - Planos de referência que controlam os parâmetros de cota da seção da viga I.....	47
Figura 29 - Janela “Propriedades de parâmetro”	47
Figura 30 - Associação entre parâmetros da família aninhada e da família hospedeira.....	48
Figura 31 - Vista lateral direita da cabeça do pilar e seus parâmetros de cota	49
Figura 32 - Fórmula do parâmetro “Chanfro”	50
Figura 33 - Eixos de locação dos pilares	51
Figura 34 - Seleção do tipo.....	52
Figura 35 - Parâmetros de visibilidade das famílias aninhadas do pilar	52
Figura 36 - Vistas do console e seus parâmetros de cota	53
Figura 37 - Vista 3D do pilar P1	53
Figura 38 - Parâmetros de cota dos recortes da viga	54
Figura 39 - Ferramenta “Alinhar”	54
Figura 40 - Edição analítica.....	55
Figura 41 - Modelo físico (a) e modelo analítico (b)	55
Figura 42 - Tabela de pilares	56
Figura 43 - Tabela de vigas tesoura.....	56
Quadro 1 - Classificação LOD	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seções de vigas e pilares retangulares de cada fabricante.....	44
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
4D	Quatro dimensões
5D	Cinco dimensões
6D	Seis dimensões
7D	Sete dimensões
ABCI	Associação Brasileira da Construção Industrializada
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	American Institute of Architects
ARI	Alta Resistência Inicial
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CDURP	Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro
CPM	Concreto Pré-Moldado
CRUSP	Conjunto Residencial da USP
FUNDUSP	Fundo de Construção da Universidade de São Paulo
GSA	General Services Administration
IAI	International Alliance for Interoperability
IFC	Industry Foundation Class
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LOD	Level Of Development
NBR	Norma Brasileira
ND	Nível de Desenvolvimento
OPUS	Sistema Unificado do Processo de Obras
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
RFA	Revit Family Architecture

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Problema de pesquisa	12
1.1.1	Hipótese.....	12
1.1.2	Delimitação de Escopo	12
1.1.3	Justificativa.....	12
1.2	Objetivos.....	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	Metodologia	14
1.3.1	Metodologia da Pesquisa	14
1.3.2	Procedimentos Metodológicos	14
1.3.2.1	Estudo dos elementos fabricados por fornecedores locais	14
1.3.2.2	Modelagem das famílias no Revit	15
1.3.2.3	Projeto de edificação térrea	15
1.4	Estrutura da dissertação	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1.	BIM	17
2.1.1	História do BIM.....	19
2.1.2	Dimensões do BIM.....	22
2.1.3	Objetos Paramétricos.....	25
2.1.4	LOD (Level of Development)	27
2.1.5	Benefícios do BIM	28
2.2.	Estruturas pré-fabricadas.....	30
2.2.1	História da pré-fabricação.....	31
2.2.2	Sistemas construtivos com componentes pré-moldados	32
2.2.3.	Produção das estruturas de concreto pré-moldado	35
2.2.4.	BIM e pré-fabricação.....	39
3	RESULTADOS E ANÁLISE.....	40
3.1	Estudo técnico com os fornecedores.....	40
3.1.1.	Premoll	40
3.1.2.	Ipasa.....	41
3.1.3.	Terra branca.....	42
3.1.4.	Constru-pré	42
3.1.4.	Durax	43
3.1.5.	Seções de vigas e pilares retangulares	44
3.2	Modelagem das famílias	45
3.2.1.	Ferramentas de formas.....	45
3.2.2.	Parâmetros de cota.....	46
3.2.3.	Parâmetros de famílias aninhadas.....	48
3.2.4.	Parâmetros de visibilidade.....	49
3.2.5.	Parâmetros com fórmulas	49
3.2.6.	Configuração dos tipos	50
3.3	Estudo prático com edificação térrea.....	50
3.3.1	Pilares	52
3.3.2	Vigas	54

3.3.3	Modelo final.....	55
3.3.4	Tabelas.....	56
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
4.1	Contribuições da dissertação.....	58
4.2	Trabalhos futuros.....	58
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS ARQUIVOS DE FAMÍLIAS.....	62
	ANEXO A – PROJETO DE FORMAS DA PARÓQUIA CORAÇÃO DE MARIA.....	65
	ANEXO B – VIGAS TESOURA (PREMOLL).....	66

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade que envolve diversos atores em um fluxo de trabalho com frequente intercâmbio de informações. A evolução desse setor ao longo da história, a complexidade crescente das edificações e o número cada vez maior de agentes envolvidos resultaram na necessidade de organizar informações de forma técnica e padronizada. Todo o processo de concepção, análises, cálculos e compatibilização dos subsistemas resulta em um conjunto de representações gráficas e textuais que comunicam aspectos construtivos do empreendimento.

O desenvolvimento da informática nas últimas décadas permitiu transferir a produção dessas representações do papel para o computador. A tecnologia CAD (Computer Aided Design ou Desenho Assistido por Computador) proporciona maior produtividade e comodidade em comparação ao desenho puramente manual, além de reduzir o uso do papel por meio da disponibilização de arquivos digitais. No entanto, pouco contribuiu para modificar profundamente o método tradicional de projetar.

Por outro lado, o BIM (Building Information Modeling ou Modelagem da Informação da Construção) se desenvolveu voltado especificamente para a construção civil, permitindo criar um modelo de construção a partir de objetos virtuais parametrizados. Esses objetos representam componentes reais da edificação – como paredes, esquadrias, tubulações e outros – incluindo parâmetros que descrevem mais do que apenas sua geometria: material, fabricante e dados para análises e cálculos diversos, por exemplo. A edição de qualquer parâmetro resulta na atualização automática de todas as representações do objeto.

O BIM altera toda a dinâmica de projeto, gerando um modelo virtual que permite a previsibilidade plena do que será construído antes mesmo da execução. Esse aspecto pode ser valioso para métodos construtivos baseados em elementos pré-fabricados, onde o retrabalho durante a etapa de projeto e as improvisações no canteiro de obra são indesejáveis. O presente trabalho tem como objeto de pesquisa o processo de criação de objetos BIM, tomando como estudo de caso os elementos estruturais de concreto armado pré-fabricados por empresas em Palmas-TO. Espera-se obter um conjunto de famílias com as dimensões e seções de cada peça, que auxiliem no processo de concepção arquitetônica no software Autodesk Revit.

1.1 Problema de pesquisa

Como se dá a modelagem de objetos BIM com o software Autodesk Revit? É possível aplicar esse processo para elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado de forma personalizada?

1.1.1 Hipótese

O software Autodesk Revit oferece ferramentas para criação de famílias paramétricas personalizadas que permitem a representação de elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado. No programa, existem vários templates para modelagem de famílias adequados a diversos elementos construtivos, com a possibilidade de inserir parâmetros.

1.1.2 Delimitação de Escopo

O presente trabalho tem como principal foco de estudo a criação de objetos paramétricos com o software Autodesk Revit, demonstrando como a tecnologia BIM pode ser aliada à utilização de componentes industrializados na construção civil. Para realizar um estudo de caso, serão modelados elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado, de acordo com as especificações dos produtos de fornecedores locais. As famílias modeladas poderão ser utilizadas na concepção arquitetônica de um projeto de estrutura pré-fabricada, considerando a modulação e as restrições geométricas características desse método construtivo.

1.1.3 Justificativa

A metodologia BIM oferece uma expressiva variedade de benefícios, entre os quais é possível citar a maior precisão na simulação do processo construtivo e o melhor gerenciamento de informações relevantes. Os objetos BIM são os “blocos” que compõem o modelo digital de construção, pois são associados a informações que descrevem sua geometria e como se comportam. Qualquer modificação desses dados é automaticamente assimilada em todas as vistas do modelo, tornando mais ágil e acurado o processo de criação de desenhos e extração de relatórios. Segundo a CBIC (2016), a não utilização desses objetos representa morosidade e maior ocorrência de erros e inconsistências em caso de alterações.

Em relação ao setor público, o uso da metodologia BIM pode ser visto como uma estratégia de governo para estimular a industrialização do setor da construção civil, visando a obtenção de resultados positivos em termos de produtividade, sustentabilidade, controle e transparência na alocação de gastos em obras públicas (ABDI, 2017). O uso de objetos BIM na representação de produtos industrializados também é de grande interesse aos fabricantes, de forma que grandes marcas – como Tigre, Deca e Gerdau – procuram elaborar bibliotecas com esses objetos, disponíveis no próprio site da empresa ou em repositórios públicos.

As bibliotecas nacionais de objetos BIM ainda são escassas, assim como a produção científica que aborda as questões práticas e teóricas referentes à criação desses objetos. Dessa forma, em projetos que envolvem elementos estruturais pré-fabricados é comum a prática de se estimar as medidas das peças durante a concepção inicial da arquitetura. Mesmo utilizando as medidas e especificações de um fornecedor, modelar as famílias e definir todos os seus parâmetros pode ser uma tarefa árdua, além de um processo desconhecido por muitos profissionais. Em um cenário ideal, o processo de projetar essas edificações é facilitado pela disponibilidade de famílias para os produtos de cada fabricante.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar estudo teórico e prático referente à modelagem de objetos BIM com o software Autodesk Revit, exemplificando o processo com elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar estudo técnico nos fornecedores locais para verificar as peças pré-fabricadas utilizadas na construção civil em Palmas-TO;
2. Realizar a modelagem de famílias com o software Autodesk Revit, utilizando como referência as peças fabricadas pelos fornecedores locais pesquisados;
3. Analisar os resultados obtidos a partir de um estudo prático com um projeto de edificação térrea institucional.

1.3 Metodologia

1.3.1 Metodologia da Pesquisa

O presente trabalho foi baseado em uma pesquisa de natureza descritiva e exploratória, pois partiu de uma revisão bibliográfica de dois tópicos já estudados pela produção científica (BIM e construção pré-moldada), ao mesmo tempo em que buscou estudar um caso específico: a modelagem de objetos BIM com o software Autodesk Revit, realizando um estudo de caso com elementos pré-fabricados de fornecedores em Palmas-TO.

O tratamento dos dados é de caráter qualitativo, pois os resultados não foram expressos por meio de valores quantificáveis, mas sim através de argumentação conceitual, descrevendo o processo da modelagem e avaliando a aplicabilidade dos objetos modelados através de um projeto de uma edificação térrea.

Por ser um estudo de caso, o método utilizado foi do tipo hipotético-dedutivo, visto que a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo geral de confirmar ou refutar a hipótese descrita na Seção 1.1.1. Mesmo que o estudo seja direcionado para um objeto específico, a hipótese do trabalho também pode ser testada para outros tipos de elementos pré-moldados ou produtos industrializados do setor da construção civil, em outras regiões.

Finalmente, sob o ponto de vista de seus objetivos, o trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, já que entre seus produtos finais está um conjunto de arquivos de objetos BIM. Esse conjunto visa auxiliar a aplicação da metodologia BIM em projetos de concepção de edificações pré-fabricadas.

1.3.2 Procedimentos Metodológicos

1.3.2.1 Estudo dos elementos fabricados por fornecedores locais

Após um levantamento dos fornecedores de elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado em Palmas-TO, foram agendadas visitas para realizar entrevistas com engenheiros ou membros da gerência da produção, e medição das seções de vigas e pilares. Para isso, foram utilizadas uma trena manual e uma trena à laser BOSCH GLM 500.

1.3.2.2 Modelagem das famílias no Revit

Com as informações necessárias coletadas, deu-se início à modelagem das famílias no software Autodesk Revit 2021, a partir dos templates “coluna estrutural métrica” e “fundação estrutural métrica – vigas e contraventamentos”. Para cada tipo de peça foi criada uma família, e para cada variação de dimensões da seção foi configurado um tipo. Também foram analisados os métodos para controlar o posicionamento paramétrico e a visibilidade de elementos de apoio como consoles, cabeças e dentes Gerber. O produto final dessa etapa foi um conjunto de famílias em arquivos RFA, correspondentes a objetos BIM paramétricos de categoria LOD 200.

1.3.2.3 Projeto de edificação térrea

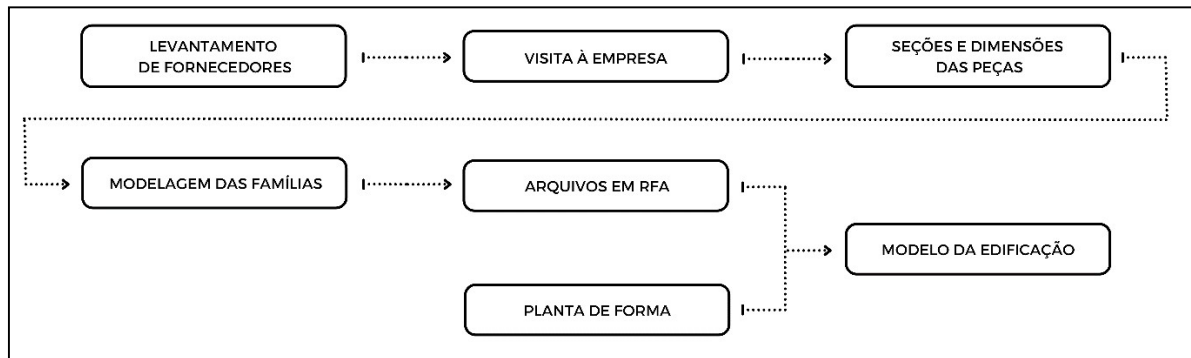
Para avaliar o funcionamento das famílias criadas, desenvolveu-se a modelagem da estrutura de uma edificação térrea no Revit. A referência escolhida foi a construção da Paróquia Coração de Maria, situada na quadra ARSO 32, projetada e construída com produtos da empresa Premoll. Para isso, foi solicitado ao fabricante o projeto de fôrmas da edificação.

Figura 1 - Obra da Paróquia Coração de Maria, na ARSO 32



Fonte: Autor (2022)

Figura 2 - Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: Autor (2022)

1.4 Estrutura Da Dissertação

O trabalho foi dividido em 4 capítulos. No Capítulo 1, faz-se uma introdução e breve contextualização do tema trabalhado, bem como se apresentam o problema de pesquisa, a hipótese a ser testada, as limitações do trabalho, sua justificativa e objetivos que norteiam os resultados esperados. A classificação da metodologia e as etapas para o desenvolvimento da pesquisa também são apontadas nesse item.

O Capítulo 2 explora a fundamentação teórica, abordando a revisão do trabalho de outros autores em torno dos dois principais temas da pesquisa: BIM e pré-fabricação.

O Capítulo 3 apresenta e analisa os resultados obtidos através de cada uma das etapas definidas na metodologia.

O Capítulo 4 reúne as considerações finais, retomando a hipótese e avaliando o atendimento de cada objetivo. Também são apontadas algumas perspectivas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BIM

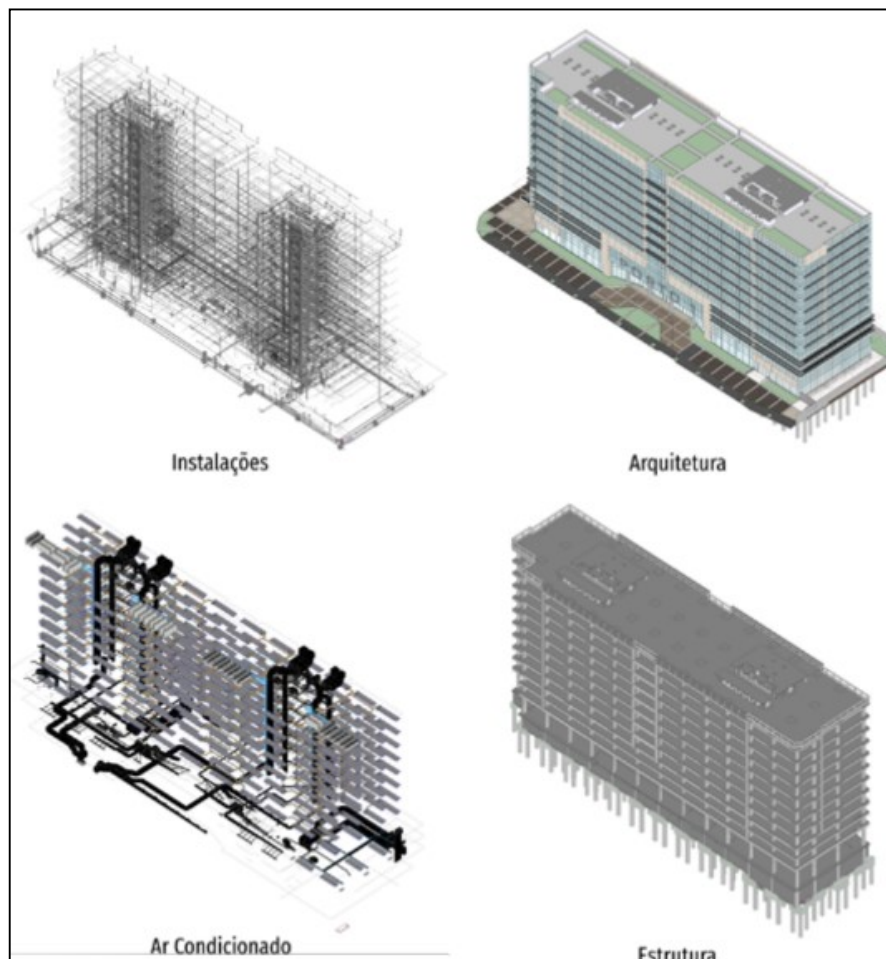
Durante o desenvolvimento da tecnologia CAD (*Computer Aided Drafting* ou Desenho Assistido por Computador), descrever geometrias digitalmente consistiu no principal objeto de pesquisa e desenvolvimento tanto para a indústria quanto para a academia. A próxima mudança de paradigma seria o BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção), previsto como a forma ideal de representar uma edificação digitalmente. No BIM, os componentes digitais representam componentes reais de uma edificação. Assim, ao invés de representar uma parede de forma bidimensional como duas linhas paralelas, por exemplo, o objeto parede tem propriedades que descrevem suas dimensões, materiais e especificações (IBRAHIM; KRAWCZYK; SCHIPPOREIT, 2004). No método tradicional, as informações limitadas a desenhos bidimensionais requerem que o leitor imagine a edificação em 3D. Por outro lado, no BIM, a representação se dá através de uma construção virtual, e a documentação em 2D gerada a partir dele é quase completamente automatizada (KASSEM; AMORIM, 2015).

O conceito BIM foi apresentado há mais de 30 anos por Chuck Eastman em uma publicação no *AIA Journal*, mas só começou a ser de fato disseminado com a disponibilidade de softwares acessíveis e computadores com poder de processamento adequado, despontando como grande novidade tecnológica a partir do início do século (ABDI, 2017). É importante frisar que o BIM não pode ser definido apenas como um software que executa desenhos tridimensionais, pois representa uma nova forma de reunir e gerenciar informações referentes ao projeto (CAMPESTRINI et al., 2015). Nesse contexto, Sacks et al. (2021) destaca o aspecto processual do BIM, definindo-o como uma tecnologia associada a um conjunto de procedimentos cujo produto final é o “modelo de construção”.

Esse modelo pode ser visto como uma construção virtual, que de acordo com a ABDI (2017), é desenvolvida agregando-se todas as informações de cada etapa da edificação, resultando em um banco de dados que inclui tanto o modelo tridimensional quanto todas as suas propriedades, com parâmetros para levantamento de quantitativos e análises energéticas, estruturais, entre outras. O modelo de construção é capaz de simular virtualmente todos os aspectos relevantes da edificação, bem como a sua interação com o entorno: condições do terreno, edificações vizinhas, insolação e ventilação. De acordo com a CBIC (2016), uma vez

finalizada a modelagem e a coordenação entre as disciplinas que definem o objeto construído, os modelos podem ser utilizados para gerar toda a documentação, como desenhos e tabelas.

Figura 3 - Modelo virtual de construção



Fonte: ABDI (2017)

A principal mudança de paradigma se encontra em alterar o fluxo de trabalho tradicional, onde muitas decisões e alterações ocorrem nas fases finais de projeto ou mesmo durante a etapa construtiva (ABDI, 2017). A possibilidade de integrar várias disciplinas por meio do modelo virtual, por exemplo, permite que a compatibilização seja feita antes mesmo da geração das pranchas. Dessa forma, realocar as decisões de projeto de maior impacto para as etapas iniciais implica na redução dos custos e desperdícios de tempo e de mão de obra (CBIC, 2016).

Sacks et al. (2021) define que um modelo virtual consiste em componentes de construção representados por objetos digitais com dados que “descrevem como eles se comportam, conforme necessário para análises e processos de trabalho, tais como

quantificação, especificação e análise energética”. Também possuem regras paramétricas que lhes permitem ser manipulados de forma inteligente; possibilitando que modificações nos dados sejam representadas em todas as visualizações do modelo de forma automática. Isso facilita a introdução de uma mudança de projeto na construção virtual com menos retrabalho, reduzindo também a ocorrência de erros e omissões.

Com a crescente relevância do BIM no mercado, alguns softwares adotam o status de solução BIM sem oferecer de fato todas as qualidades e potencialidades dessa tecnologia. A CBIC (2016) nomeia esse fenômeno como “*BIM wash*”, e enumera alguns pontos para discernir o que não é BIM. Por exemplo:

- a) Ferramentas que apenas permitem a modelagem e visualização em 3D, com objetos que não contém outras informações além da geometria;
- b) Softwares que não realizam simulações, análises, atualizações ou extração de quantidades de forma automática;
- c) Soluções que não atuam como gestores de bancos de dados integrados, isto é, não oferecem outras formas para visualizar informações além do modelo tridimensional, como listas, tabelas, planilhas, etc.

2.1.1 História do BIM

Segundo Sacks et al. (2021), os esforços no desenvolvimento de ferramentas para modelagem 3D tiveram início no final década de 60, com diversas aplicações em potencial na arquitetura e engenharia, nos jogos eletrônicos e no emprego da computação gráfica no cinema. Os sistemas CAD de modelagem de sólidos despontaram no início da década de 80, onde as indústrias aeroespaciais e de manufatura lideraram os esforços para o desenvolvimento de novas capacidades, enquanto que na construção civil o emprego da tecnologia CAD limitou-se a ferramentas que atuavam como suporte aos métodos tradicionais de trabalho e permitiam gerar documentos digitais em 2D.

Mesmo possibilitando maior quantidade de informações de projeto, o CAD 3D ainda carece de ferramentas que facilitem a produção de informações estruturadas, aspecto que influencia na geração de documentação projetual de edificações. Configurar *layers* e espessuras de linha, além de inserir níveis, dimensões e descrições são atividades manuais morosas, sujeitas a erros e imprecisões. Devido a representação de elementos construtivos

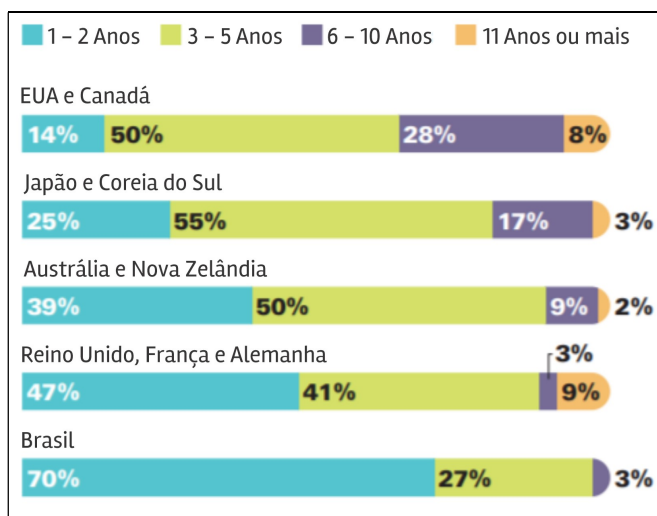
como sólidos geométricos indistintos, o CAD 3D está para uma maquete eletrônica assim como o CAD 2D está para uma prancheta eletrônica. Isso pouco contribui para o aprimoramento da qualidade das informações geradas e dos métodos de produção projetual (AYRES FILHO; SCHEER, 2007).

O conceito de “CAD orientado a objetos” não é novo, mas nunca foi tão difundido comercialmente como ultimamente, com o aumento da capacidade de processamento dos computadores (IBRAHIM; KRAWCZYK; SCHIPPOREIT, 2004). O ArchiCAD da húngara Graphisoft, e o Allplan da alemã Nemetschek, foram lançados ainda na década de 80, enquanto o Revit foi introduzido pela Autodesk em 2002, após ser adquirido de uma empresa startup. A finlandesa Tekla Corp desenvolveu seu primeiro produto voltado para a construção na década de 90: o Xsteel, utilizado para detalhamento de aço, e em 2004 o software Tekla Structures já comportava sistemas de aço, concreto pré-moldado, madeira e concreto armado (SACKS et al., 2021).

Durante a década de 90, a IAI (*International Alliance for Interoperability* ou Aliança Internacional para Interoperabilidade) surgiu a partir de um consórcio de companhias estadunidenses reunidas pela Autodesk, atuando como uma organização internacional sem fins lucrativos com o objetivo de criar o IFC (*Industry Foundation Class*), um modelo neutro de dados para produtos AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Em 2005, a organização foi rebatizada como *BuildingSMART*, e em 2017 possuía 17 seções em 22 países, cujos membros se reúnem regularmente para desenvolver normas e documentar boas práticas para o BIM (SACKS et al., 2021).

A ascensão do uso do BIM tem sido conduzida por grandes instituições privadas e governamentais que visam difundir os benefícios dessa tecnologia. Em uma pesquisa com empreiteiras que adotam o BIM, McGraw Hill (2014) constatou que, somente no Reino Unido, 19% das empreiteiras afirmaram ter mais de 10 anos de experiência com essa tecnologia. A adoção do BIM na América do Norte apresentou um crescimento expressivo nos últimos anos, demonstrado pelo fato de que 36% das empreiteiras nos Estados Unidos e Canadá relatam ter seis ou mais anos de experiência.

Figura 4 - Tempo de experiência em BIM entre as empreiteiras (por região/país)



Fonte: McGraw Hill (2014)

No Brasil, a área acadêmica foi a primeira a demonstrar interesse em BIM, com o início das publicações ao final da década de 90 e o crescimento significativo da produção científica nos últimos anos (KASSEM; DE AMORIM, 2015). No setor privado, as empreiteiras brasileiras, apesar da recente experiência em BIM, demonstram bastante engajamento e interesse nos investimentos em softwares e treinamentos (MCGRAW HILL, 2014). A construtora SINCO iniciou a implementação do BIM na empresa em 2011, desenvolvendo os próprios modelos construtivos a partir de projetos em 2D de terceiros, em um departamento criado especificamente para essa finalidade (KASSEM; DE AMORIM, 2015).

Na área pública, a engenharia militar demonstrou pioneirismo ao empregar a modelagem de construção durante o desenvolvimento do Sistema OPUS (Sistema Unificado do Processo de Obras) em 2006. A primeira licitação a mencionar o BIM ocorreu em 2010, realizada pela CDURP (Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro) (KASSEM; DE AMORIM, 2015). Em 2020, o Decreto nº 10.306 estabeleceu o uso do BIM em projetos de obras realizadas por órgãos e entidades públicas do âmbito federal, em um programa de três fases iniciado a partir de 2021 (BRASIL, 2020). Dessa forma, o Brasil começa a seguir o exemplo de vários outros países ao exigir o uso do BIM em licitações públicas, como os Estados Unidos, onde a GSA (*General Services Administration*) anunciou que exigiria o uso do BIM em seus projetos a partir de 2008; ou a Coreia do Sul, que a partir de 2010 passou a exigir a implementação do BIM em obras públicas (SACKS et al., 2021).

Sacks et al. (2021) afirma que “a ‘revolução do BIM’ ainda é um trabalho em andamento”. O autor sugere que nos próximos anos o BIM contribuirá para a melhoria do desempenho das edificações, a redução de documentos e o uso mais elevado da pré-fabricação, atuando também como suporte sólido à construção sustentável. Em um horizonte mais amplo, é possível prever um fluxo de transferência de dados entre o BIM e o canteiro de obras a partir de tecnologias como os computadores portáteis, sistemas de realidade aumentada e virtual, fotogrametria, drones e escaneamento a laser. O BIM também pode atuar como aliado da impressão 3D e da construção robótica, ou como ponte entre a construção civil e a inteligência artificial. Trabalhos recentes demonstraram que o aprendizado de máquina auxilia na identificação de formatos em nuvens de ponto para recompor a geometria de objetos construtivos reais previamente escaneados, por exemplo.

2.1.2 Dimensões do BIM

A CBIC (2016) defende que, por definição, o BIM é aplicável a todas as fases do ciclo de vida de uma edificação. Diferentes modelos podem ser desenvolvidos de acordo com os usos e propósitos demandados por cada fase do ciclo de vida.

Figura 5 - Ciclo de vida de um empreendimento da construção civil



Fonte: CBIC (2016)

Um modelo que inclui informações espaciais é um modelo 3D, do qual é possível extrair informações sobre compatibilização espacial, especificações e quantitativos, por exemplo. (CAMPESTRINI et al., 2015). Normalmente, são desenvolvidos modelos específicos para cada disciplina do projeto, como arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias, etc. Porém, sempre seguindo a premissa do trabalho colaborativo. (CBIC, 2016).

O planejamento de uma obra envolve o sequenciamento de atividades no espaço e no tempo. Tradicionalmente, esse processo é realizado com o auxílio de gráficos de barras que ilustram a sequência de atividades, como o diagrama de Gantt. No entanto, sem uma associação visual entre cada atividade a áreas e componentes no projeto, apenas os profissionais familiarizados com o empreendimento e sua sequência construtiva seriam capazes de avaliar a viabilidade desses cronogramas (SACKS et al., 2021). Acrescentando-se ao modelo BIM informações de prazo, como produtividade das equipes e sequência construtiva, é possível obter cronogramas e arranjos espaciais a cada etapa da execução. Trata-se de um modelo 4D. (CAMPESTRINI et al., 2015).

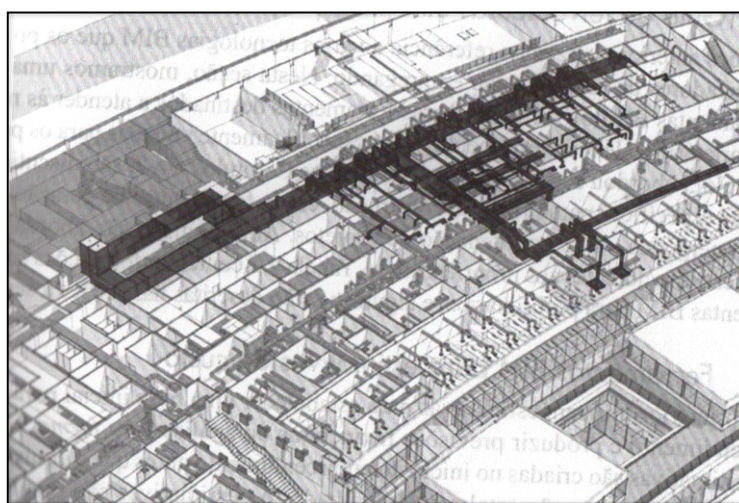
Para simular, avaliar ou ilustrar sequências construtivas, os objetos do modelo podem ser detalhados ou agrupados de acordo com as atividades do cronograma. Assim, uma laje que será concretada em três lançamentos pode ser dividida em três seções. (SACKS et al., 2021). O modelo 4D também permite o estudo do canteiro de obras com a simulação de recursos que, embora não sejam incorporados ao produto final, são utilizados durante a construção: guas, elevadores de obra, etc. (CBIC, 2016). Assim, é possível avaliar interferências entre objetos permanentes e temporários, por exemplo: verificar a movimentação de uma grua em torno de uma edificação em um terreno estreito. (SACKS et al., 2021).

O modelo 5D é aquele que recebe informações de custo de materiais, mão de obra e equipamentos, despesas indiretas, etc. (CAMPESTRINI et al., 2015). O BIM oferece a possibilidade de trabalhar com estimativas preliminares de custo desde a fase inicial do projeto, onde a possibilidade de influenciar os custos é mais alta. O software DESTINI Profiler é um exemplo de plataforma que realiza estimativas de custos a partir de um projeto de nível conceitual. À medida que o projeto avança, essas estimativas ajudam a antecipar problemas e comparar alternativas, orientando a tomada de decisões projetuais dentro das limitações impostas pelo orçamento. Diversas ferramentas BIM permitem a extração de quantitativos de áreas, volumes e quantidades de materiais para ferramentas de orçamentação como o Excel, também sendo possível a utilização de *plug-ins* na exportação dessas informações para outros softwares de orçamentação. Assim, o BIM torna as estimativas de custo mais rápidas e precisas, permitindo uma realimentação mais ágil em caso de modificações ao longo do projeto (SACKS et al., 2021).

Já um modelo 6D “recebe informações sobre a validade dos materiais, os ciclos de manutenção, o consumo de água e energia elétrica, entre outros.” Dele se extraem informações sobre custo de operação e manutenção da edificação. (CAMPESTRINI et al.,

2015). Esse modelo pode ser disponibilizado ao proprietário para o gerenciamento da edificação ou antes da entrega da obra, para conferência dos sistemas da construção conforme o que foi projetado. A integração do modelo a um sistema de gerenciamento de facilidades permite a simulação dos procedimentos de manutenção virtualmente, como a equipe de manutenção do *Howard Hughes Medical Center* fez ao simular quais áreas seriam impactadas com o desligamento da energia em um equipamento de distribuição de ar (SACKS et al., 2021).

Figura 6 - Simulação de manutenção no *Howard Hughes Medical Center* com uso de modelo BIM 6D



Fonte: Sacks et al. (2021)

Hardin e McCool (2009), relacionam uma sétima dimensão (BIM 7D) à estudos de sustentabilidade que envolvem a escolha do terreno, consumo de água e energia, materiais construtivos, etc. Certificações como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) podem tornar empreendimentos mais valorizados, e têm influenciado a forma como a indústria da construção enxerga a sustentabilidade. Algumas ferramentas BIM permitem, por exemplo, estimar emissões de CO₂ a partir do quantitativo de volume de concreto, ou ainda realizar estudos de insolação e conforto térmico com base nos dados meteorológicos do local do empreendimento.

Quanto maior a dimensão do modelo, mais informações podem ser extraídas dele, permitindo tomadas de decisão mais abrangentes e assertivas. Em um modelo 5D, as decisões de projeto dependem também da validação de custo, por exemplo: é vantajoso que uma solução de laje, além de ser espacialmente compatível, tenha uma execução adequada ao prazo e custo total da obra. (CAMPESTRINI et al., 2015).

2.1.3 Objetos Paramétricos

A ABDI (2017) conceitua um componente BIM como um objeto virtual que simula um objeto real construído ou a construir, contendo informações como materiais, dimensões, características de desempenho térmico e qualquer outra qualidade demandada pelo projeto. Os objetos paramétricos são “componentes BIM que podem ter suas características alteradas para atender às necessidades específicas de um projeto sem necessidade de redesenho”. Qualquer alteração de parâmetro desencadeia uma atualização automática em todas as representações desse elemento. Além disso, esses componentes podem conter diversos tipos de dados textuais, numéricos, ou links para documentos externos como manuais, termos de garantia ou detalhes construtivos. A CBIC (2016) define os objetos BIM como repositórios de dados, uma vez que também é possível inserir novos dados no objeto além das informações já integradas. Assim, em um objeto que corresponda a um equipamento, por exemplo, é possível inserir informações como a data de início da sua operação, a empresa que o instalou, e seu prazo de garantia. Alguns objetos BIM atuam de forma inteligente, pois contêm informações sobre sua interação com outros objetos do modelo. No caso de uma janela hospedada em uma parede que tem sua espessura alterada, o objeto da janela identifica a modificação e se ajusta a ela.

De acordo com a CBIC (2016), os componentes podem ser específicos ou genéricos, ou seja, correspondentes a um produto de um fabricante ou não. DECA, DOCOL e Tigre são fabricantes que desenvolveram bibliotecas com objetos correspondentes aos seus produtos. Os objetos também podem ser classificados em fixos, semiparamétricos ou paramétricos:

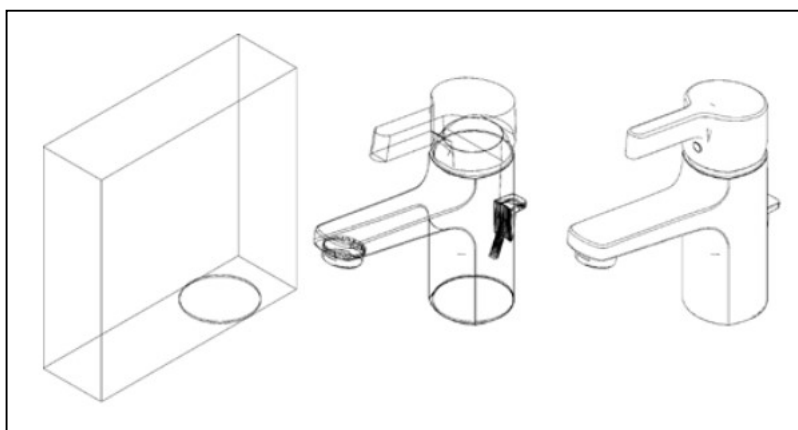
Quando são fixos, não é possível ajustar medidas totais ou de seus componentes constituintes. Nos objetos semiparamétricos, algumas dimensões podem ser ajustadas, mas existem grandes limitações de variabilidade. Mas, naqueles totalmente paramétricos, a maioria das dimensões pode ser mudada e ajustada, inclusive da configuração dos principais componentes, bem como dos correspondentes materiais constituintes. (CBIC, 2016, P. 31).

O “tipo” é uma categoria de componente (por exemplo, um modelo de bacia sanitária), enquanto uma “instância” é cada “cópia” de um tipo, efetivamente inserida em um modelo BIM. Propriedades de tipo, como nome do fabricante ou modelo, são comuns a todas as instâncias, enquanto que “parâmetros de instância têm valores individuais para cada instância” (por exemplo, várias bacias sanitárias do mesmo modelo podem ter cores diferentes no mesmo projeto). Cada alteração em um tipo refletirá em todas as instâncias, enquanto que

ao modificar um parâmetro de instância, somente aquele objeto individual (instância) será afetado (ABDI, 2017).

Da mesma forma que um único modelo BIM não pode servir como base para todas as etapas de empreendimento, muitas vezes é inviável que um objeto BIM tenha uma única versão com todas as informações integradas, o que resultaria em arquivos muito pesados (CBIC, 2016). Cada etapa do projeto implica no incremento de informações, como no caso da produção de imagens renderizadas, que demanda alto grau de detalhamento geométrico dos componentes, ao contrário de projetos hidráulicos, que se limitam a dimensões mais básicas como comprimento e bitola. Logo, para cada entrega é possível ajustar a quantidade de informações conforme a demanda, facilitando a compreensão e a troca de informações entre as partes envolvidas, sem o risco de sobrecarregar os sistemas de processamento. Isso pode ser feito com diversos modos de visualização predefinidos, permitindo que visualizar apenas o que é de interesse para cada vista. Essa solução alivia a demanda da parte gráfica, mas não reduz a demanda de memória. Em outros casos, é mais adequado desenvolver duas ou mais versões do mesmo objeto para cada uso distinto. (ABDI, 2017).

Figura 7 - Diferentes níveis de detalhamento geométrico para o mesmo componente



Fonte: Similor Kugler (apud ABDI, 2017)



Por vezes, é interessante associar ao objeto representações 2D que serão visualizadas em planta, elevação ou cortes, ao invés da geometria real do componente. É o caso de elementos cuja a representação simbólica é padronizada, como esquadrias, tomadas, interruptores, etc. Um objeto de porta pode representar em planta o arco de abertura da mesma (ABDI, 2017).



2.1.4 LOD (Level of Development)

Com o desenvolvimento do projeto, o modelo construtivo evolui a partir de ideias conceituais até descrições completas e precisas. Em um contexto que envolve um fluxo de trabalho colaborativo, onde diferentes agentes precisam de informações extraídas de modelos gerados por outros, é recomendável definir o nível de confiabilidade dos elementos. O *Level Of Development* (LOD) ou Nível de Desenvolvimento (ND) permite expressar o nível de confiabilidade das informações contidas nos componentes de um modelo. Um exemplo de aplicação prática envolve a contratação de terceiros para serviços de modelagem. Nesse contexto, o LOD serve como referência para especificação de entregáveis, para contratos ou planejamentos de trabalhos em BIM. (CBIC, 2016).

É válido ressaltar que o LOD se trata de uma característica associada a objetos, e não a modelos ou etapas de projeto. Assim, seria equivocado definir um modelo como “modelo LOD X”, pois é possível a existência de componentes com LODs diversos em um mesmo modelo. (ABDI, 2017). A tabela a seguir reúne as especificidades de cada LOD de acordo com as definições do BIMForum (BEDRICK; IKERD; REINHARDT, 2021):

Quadro 1 - Classificação LOD

LOD 100		Os elementos LOD 100 não são representações geométricas. São representações genéricas ou símbolos que mostram a existência de um componente, mas não sua forma, tamanho ou localização precisa. Qualquer informação derivada de elementos LOD 100 deve ser considerada aproximada.
LOD 200		Neste LOD, os elementos são espaços reservados genéricos. Eles podem ser reconhecíveis como os componentes que representam, ou podem ser volumes para reservar espaço. Qualquer informação derivada de elementos LOD 200 deve ser considerada aproximada.
LOD 300		A quantidade, tamanho, forma, localização e orientação do elemento conforme projetado podem ser medidos diretamente no modelo sem fazer referência a informações não modeladas, como notas ou anotações de dimensão. O elemento está localizado com precisão em relação à origem do projeto.

LOD 350		As peças necessárias para a coordenação do elemento com elementos próximos ou anexados são modeladas. Essas partes incluem itens como suportes e conexões. A quantidade, tamanho, forma, localização e orientação do elemento conforme projetado pode ser medido diretamente do modelo sem consultar informações não modeladas, como notas ou chamadas de dimensão.
LOD 400		Um elemento LOD 400 é modelado com detalhes e precisão suficientes para a fabricação do componente representado. A quantidade, tamanho, forma, localização e orientação do elemento conforme projetado podem ser medidos diretamente do modelo sem consultar informações não modeladas, como notas ou chamadas de dimensão.

Fonte: Bedrick; Ikerd; Reinhardt (2021)

A classificação do BIMForum é baseada nas definições da AIA (*American Institute of Architects*), acrescentando o LOD 350, e excluindo o LOD 500 (que se refere à representação de um elemento baseada na “verificação em campo”) (BEDRICK; IKERD; REINHARDT, 2021).

2.1.5 Benefícios do BIM

Campestrini et al. (2015) afirma que o foco principal do BIM é a “informação para a tomada de decisão”. Um dos principais benefícios do BIM envolve a melhoria do fluxo de informações durante o desenvolvimento de um projeto, tornando as escolhas projetuais mais ágeis e assertivas. Por atuar como banco de dados único, o modelo virtual de construção disponibiliza informações corretas e atualizadas, uma vez que toda a equipe envolvida o alimenta. Dessa forma, os modelos virtuais objetivam alinhar o fluxo de informação entre as diversas etapas de uma construção e todos os setores envolvidos no processo.

Antes de iniciar de fato um projeto, é recomendável analisar se o porte, o padrão e o programa de necessidades da edificação estão alinhados aos limites orçamentários e de prazos (SACKS et al., 2021). A utilização do BIM nas fases anteriores à construção através de modelos esquemáticos (macro planejamento) reduz incertezas e riscos relacionados a esses fatores. Existem ferramentas que permitem o rápido cálculo dos custos de diferentes soluções construtivas a partir de modelos pouco detalhados. Através de cálculos de custos unitários de diferentes sistemas construtivos e custos por metro quadrado (relacionando informações como a classificação da edificação pelo uso e padrões de acabamento), é possível comparar

financeiramente diversas combinações de layout e soluções construtivas. Nesse mesmo contexto, o BIM também permite realizar análises energéticas a partir de informações como localização física do empreendimento e a orientação das fachadas em relação à carta solar da região. Dessa forma, pode-se analisar diferentes soluções relacionadas à locação e à seleção de subsistemas construtivos, como climatização e fachadas de vidro (CBIC, 2016). Essas vantagens são especialmente interessantes aos proprietários do empreendimento, pois contribuem para entregas mais rápidas e confiáveis de edificações valorizadas e com menores custos (SACKS et al., 2021).

Projetos desenvolvidos em CAD, representados através de plantas, cortes e vistas, não otimizam a visualização e compreensão do objeto. A modelagem BIM permite uma visualização plena do que se está projetando, além de oferecer ferramentas para detecção de interferências entre os diferentes sistemas de uma edificação (CBIC, 2016). Nos métodos projetuais tradicionais, a compatibilização é feita com a sobreposição dos desenhos dentro de um software CAD, identificando visualmente as interferências. Além de facilitar essa visualização através de um modelo virtual, diversas ferramentas BIM oferecem comandos de detecção automática de incompatibilidades. (CAMPESTRINI et al., 2015). As aplicações mais avançadas permitem a geração de listas de interferências que incluem imagens e referências de sua localização no modelo, podendo ainda classificá-las como leves, moderadas ou críticas (ABDI, 2017).

Outra vantagem do BIM é a facilidade de reconstruir o modelo após uma alteração, oferecendo mais condições de simulação. É possível, por exemplo, trocar uma solução estrutural e analisar seus impactos. Dessa forma, o BIM pode ser comparado a uma planilha eletrônica que envolve operações com dados diversos: os cálculos são feitos automaticamente após a entrada de novos dados. Os modelos virtuais têm a mesma função, porém são desenvolvidos em softwares voltados especificamente para a construção civil (CAMPESTRINI et al., 2015). “Projetar uma construção que contém cem mil ou mais objetos pode ser impraticável sem um sistema que permita uma efetiva edição de projetos automática de baixo nível.” (SACKS et al., 2021). Com a parametrização dos objetos, os desenhos são mais facilmente alinhados a mudanças no decorrer do projeto, o que permite a geração de desenhos 2D de forma ágil e precisa em qualquer etapa do projeto (SACKS et al., 2021).

A tecnologia BIM permite modelar não apenas o objeto construtivo, mas também o próprio processo de construir. Com o emprego do planejamento 4D, é viável “ensaiar” a obra no computador, antes do início da construção de fato, eliminando eventuais interferências

envolvendo recursos como guas e elevadores de carga, além de demonstrar de forma detalhada o sequenciamento das atividades na obra, de modo a evitar descontinuidades e “surpresas” durante a execução. Minimizar todas essas incertezas e riscos específicos da fase construtiva colabora para uma maior aderência entre a execução da obra ao orçamento e ao planejamento (CBIC, 2016).

2.2. Estruturas pré-fabricadas

El Debs (2017) considera a indústria da construção civil atrasada em comparação a outros setores produtivos, devido a fatores como a baixa produtividade, o desperdício de materiais, a morosidade e o baixo controle de qualidade. Segundo o autor, a difusão da pré-moldagem representa um aumento do grau de desenvolvimento tecnológico do setor, acarretando a valorização da mão-de-obra, exigências mais rigorosas na qualidade dos produtos, e até mesmo melhoras nas condições de trabalho na construção civil. Acker (2003) acrescenta que “a pré-fabricação possui um maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade do que as construções moldadas no local, por causa do uso altamente potencializado e otimizado dos materiais”. A adoção desse método construtivo envolve a aplicação de uma filosofia industrial ao longo do processo construtivo, transferindo o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas (ACKER, 2003).

A denominação “concreto pré-moldado” se refere ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização da construção, abrangendo diversos tipos de objetos construtivos. Nas edificações, a pré-moldagem pode ser empregada na estrutura principal e nos fechamentos das edificações. Destaca-se também as obras de infraestrutura urbana e estradas, como pontes e revestimento de túneis, bem como outras pequenas obras civis: muros de arrimo, galerias e canais, estádios e silos (EL DEBS, 2017).

A NBR 9062 difere pré-moldagem e pré-fabricagem sob a perspectiva de que a segunda definição envolve uma produção industrializada, “em instalações permanentes destinadas para esse fim”. (ABNT, 2017). El Debs (2017) defende que “o conceito de CPM aplicado à produção em grande escala resulta no concreto pré-fabricado”.

Enquanto que a fabricação de ciclo aberto se baseia em elementos disponíveis no mercado, possibilitando a combinação de componentes de diferentes fabricantes, a fabricação de ciclo fechado não permite a intercambialidade dos elementos. No primeiro caso, a combinação de elementos só é possível quando as suas medidas seguem uma coordenação

modular, que por sua vez corresponde à coordenação entre as dimensões dos elementos e as dimensões de projeto da edificação por meio de dimensões básicas. Nesse contexto, o projeto é desenvolvido a partir de uma “malha modular” à qual as dimensões dos componentes se ajustam. Esse processo contribui para a redução da necessidade de adaptações dos elementos, e possibilita a escolha do componente mais adequado dentre os disponíveis no mercado (EL DEBS, 2017). Geralmente, os fabricantes padronizam detalhes como dimensões e geometria das seções transversais, utilizando fôrmas pré-estabelecidas (ACKER, 2003).

2.2.1 História da pré-fabricação

El Debs (2017) estima que a primeira obra a empregar elementos pré-moldados foi o Cassino de Biarritz, na França, em 1891, cujas vigas foram pré-moldadas. Em 1906, começam a ser produzidos os primeiros elementos pré-fabricados na Europa: as vigas treliças “*Visintini*” e estacas de concreto armado, enquanto que em 1907, nos Estados Unidos, surge a técnica construtiva conhecida como “*Tilt-up*”, na qual as paredes são concretadas “deitadas” no solo e em seguida içadas para a posição final. No período após Segunda Guerra Mundial o emprego do concreto pré-moldado foi impulsionado na Europa por fatores como a necessidade de construção em larga escala, escassez de mão de obra e o desenvolvimento tecnológico da protensão.

A primeira grande obra a empregar o concreto pré-moldado no Brasil foi o hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro, em 1926. A construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen utilizou diversas aplicações de elementos pré-moldados, entre os quais é possível citar as estacas de fundação e o muro de fechamento da área do hipódromo. Na década de 50, a construtora Mauá executou diversos galpões industriais pré-moldados nos canteiros de obras, como os pavilhões da fábrica ELCLOR em Rio Grande da Serra. A primeira tentativa de pré-fabricação em edifícios de múltiplos pavimentos foi conjunto CRUSP, na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo, 1964. Tratava-se de um conjunto habitacional de doze edificações com doze pavimentos projetados pelo FUNDUSP (Fundo de Construção da Universidade de São Paulo) (VASCONCELOS, 2002).

Foi efetivamente nos anos 80 que a pré-fabricação ganhou destaque em obras industriais brasileiras, especialmente em obras de empresas multinacionais que já adotavam o método construtivo no exterior (ABDI, 2015). Em 1986, a Associação Brasileira da

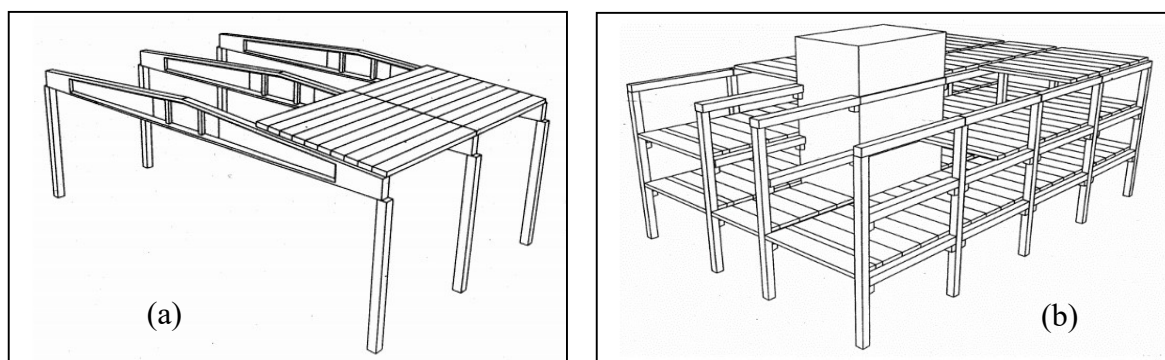
Construção Industrializada (ABCI) publicou um manual técnico sobre os componentes produzidos pelas empresas associadas (AZUL, 2018). Obras de grandes redes de hipermercado também aderiram a esse método construtivo na década de 90, devido à rapidez construtiva requerida nesses empreendimentos (ABDI, 2015).

Entre os anos de 2014 e 2016, eventos esportivos como a Copa do Mundo e o Jogos Olímpicos demandaram a construção de estádios e arenas que se iniciou a partir de 2010, no Rio de Janeiro, e utilizou pré-fabricados de concreto armado para viabilizar os prazos de conclusão. A partir de 2012, foi iniciada em Minas Gerais a construção de habitações de interesse social com um sistema próprio de vigas, lajes e pilares pré-fabricados, para o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Em 2016, foi empregado um sistema construtivo com painéis de laje e paredes pré-fabricadas de concreto armado em um conjunto habitacional em Rio Claro, São Paulo. Ainda assim, os casos de construções habitacionais com o emprego da pré-fabricação não são recorrentes no Brasil. (AZUL, 2018).

2.2.2 Sistemas construtivos com componentes pré-moldados

Sistemas estruturais em esqueleto e sistemas aporticados consistem na combinação de elementos lineares como vigas e pilares para formar o esqueleto da estrutura. São ideais para projeto de edificações que necessitam de flexibilidade arquitetônica. Edificações térreas como armazéns e construções industriais costumam adotar o sistema de traves aporticadas (Fig. 8a) composto por pilares chumbados nas fundações e vigas de fechamento. Já nos edifícios de múltiplos andares (Fig. 8b), as vigas normalmente apresentam seções com formato retangular, em L ou T invertido, apoiadas nos topos dos pilares ou sobre consolos de concreto. (ACKER, 2003).

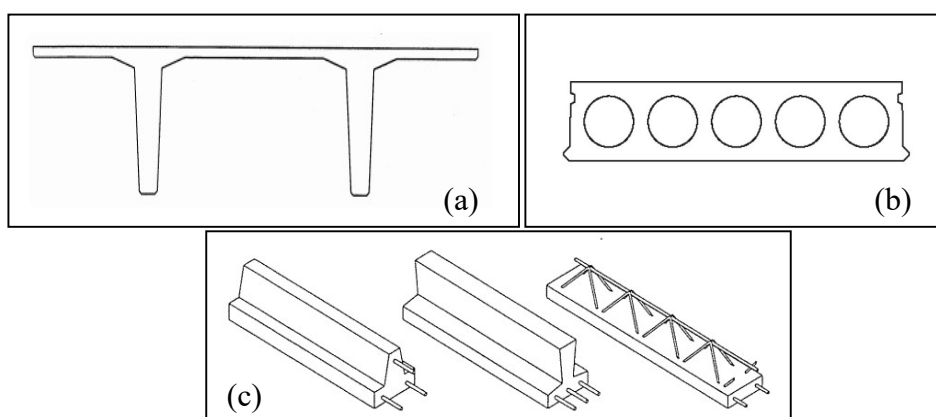
Figura 8 - Exemplos de sistemas em esqueleto



Fonte: Acker (2003)

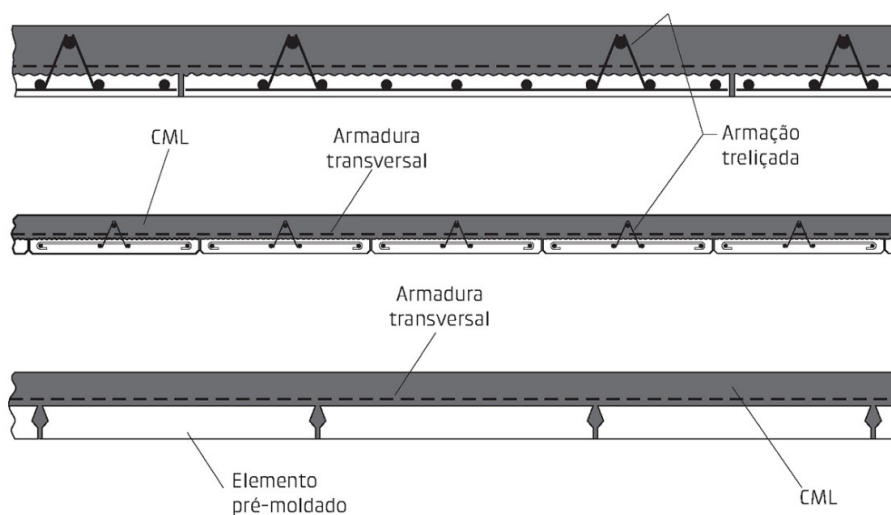
As estruturas para piso consistem de vários elementos de laje agrupados formando uma estrutura capaz de distribuir a carga concentrada e transferir as forças horizontais para os sistemas de contraventamento (ACKER, 2003). Painéis de seção TT (Fig. 9a) e painéis alveolares (Fig. 9b) são normalmente fabricados em concreto protendido, representando soluções para grandes vãos. Para vãos menores, são muito empregadas lajes com sistemas compostos de nervuras (ou vigotas) pré-moldadas (Fig. 9c) e enchimentos como bloco vazado ou poliestireno expandido, que recebem uma camada de concreto moldado no local. As nervuras mais comuns no Brasil são as de seção T invertido e as nervuras com armadura em forma de treliça que se projeta para fora da seção. Existem também os elementos de “pré-laje”, que correspondem a painéis pré-moldados completados com concreto moldado no local, com ou sem elementos de enchimento (EL DEBS, 2017).

Figura 9 - Elementos pré-moldados para piso



Fonte: Acker (2003)

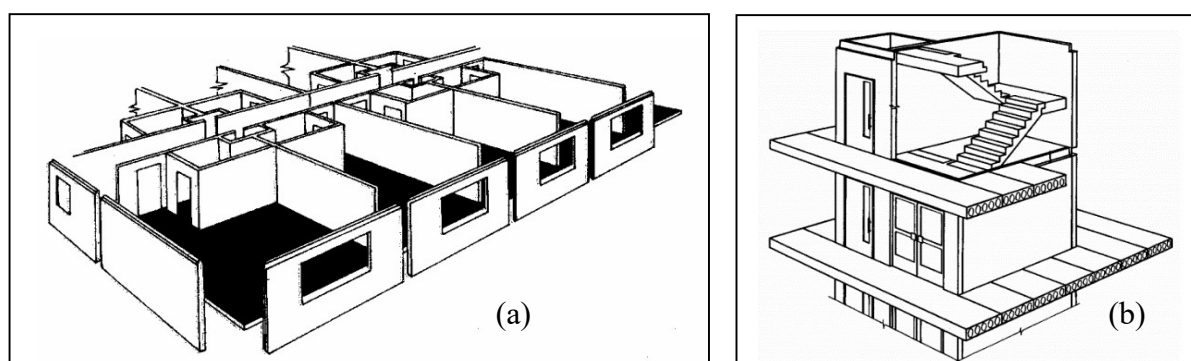
Figura 10 - Sistemas “pré-laje”



Fonte: El Debs (2017)

Sistemas de paredes com painéis de concreto pré-moldados são usados para fechamentos internos e externos (Fig. 11a), ou ainda em núcleos centrais (Fig. 11b), poços de elevadores e paredes de contraventamento (ACKER, 2003). Quanto a seção, podem ser maciços, vazados, nervurados ou sanduíche (EL DEBS, 2017). Para o fechamento de fachadas podem ser utilizados sistemas de painéis portantes ou não portantes, fabricados com concreto arquitetônico: um material com variedade de acabamentos que contribuem com a estética arquitetônica da construção (ACKER, 2003).

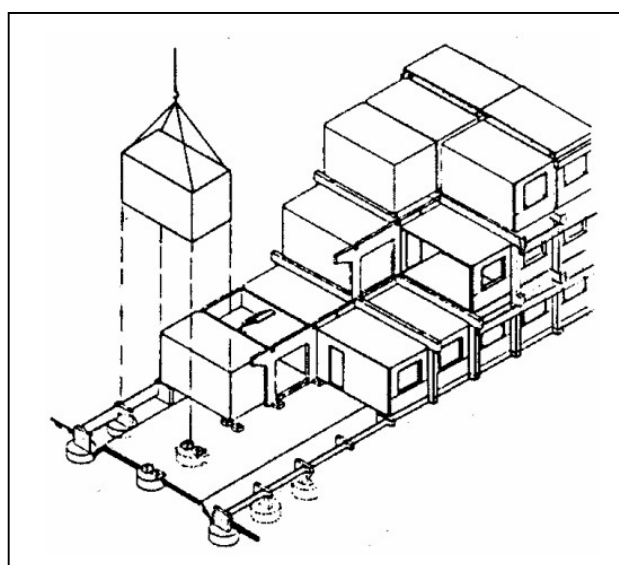
Figura 11 - Sistemas de parede com painéis pré-moldados



Fonte: Acker (2003)

As unidades celulares, utilizadas para algumas partes da edificação como banheiros, cozinha, garagens, entre outros, apresentam maior dificuldade para o transporte e menor flexibilidade arquitetônica (ACKER, 2003).

Figura 12 - Sistemas celulares



Fonte: Acker (2003)

Há também a possibilidade de aplicar a pré-fabricação em sistemas de cobertura com telhas W protendidas, em escadas, e em elementos de fundação, como estacas pré-moldadas, cálice completo com colarinho e sapata, ou somente o colarinho (ABDI, 2015; EL DEBS, 2017).

2.2.3. Produção das estruturas de concreto pré-moldado

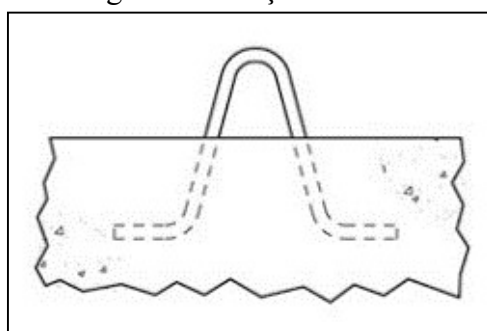
A produção de estruturas de concreto pré-moldado envolve as etapas de execução do elemento, transporte, montagem e ligações. Nos casos da produção no canteiro, o processo se resume a execução, montagem e ligações (EL DEBS, 2017).

Entre as atividades preliminares incluem-se, por exemplo, a dosagem e a mistura do concreto, e o preparo da armadura (corte e dobramento). As atividades de preparo de armadura não protendida são basicamente as mesmas das estruturas de concreto armado moldado no local. Porém, a produção em série permite o emprego de equipamentos na execução de corte e de dobra de fios, barras e telas, aumentando a produtividade. (EL DEBS, 2017). A NBR 9062 recomenda que o manuseio e transporte das armaduras seja realizado por meios e dispositivos que mantenham a sua integridade, evitando deformações e rupturas dos vínculos de posicionamento (ABNT, 2017).

Os processos de execução podem ser com fôrma estacionária, na qual a fôrma permanece na mesma posição durante todas as atividades; com forma móvel, onde as fôrmas se movimentam ao longo das atividades realizadas em estações de equipes estacionárias; ou em pista de concretagem, na qual os elementos são produzidos sequencialmente, de forma contínua ou descontínua. (EL DEBS, 2017). As fôrmas podem ser de aço, alumínio, concreto ou madeira. Para o posicionamento da armadura na fôrma, utilizam-se arame, tarugos de aço, espaçadores de concreto, argamassa ou material plástico de alta densidade. Após o lançamento do concreto, o adensamento é feito por vibração, centrifugação ou prensagem (ABNT, 2017). A vibração interna é normalmente feita com vibradores de agulha, enquanto a vibração externa, que é mais comum em fábricas, pode ser realizada com vibradores de fôrma. Para acelerar o endurecimento e a cura do concreto e conseqüentemente aumentar a produtividade, é possível utilizar cimento de alta resistência inicial (ARI), aumentar a temperatura, ou utilizar aditivos. A cura pode ser por aspersão, por imersão, térmica ou com aplicação de película impermeabilizante. (EL DEBS, 2017).

“Os elementos pré-moldados devem ser suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto, evitando-se choques e movimentos abruptos” (ABNT, 2017). Os dispositivos auxiliares para manuseio podem ser internos, como os laços chumbados; ou externos, como balancins. Durante o transporte, é recomendável a fixação dos elementos de forma a protegê-los das ações dinâmicas (EL DEBS, 2017). Os elementos também podem ser escorados para evitar tombamentos e deslizamentos durante as partidas, freadas e trânsito do veículo (ABNT, 2017).

Figura 13 - Laço chumbado



Fonte: El Debs (2017)

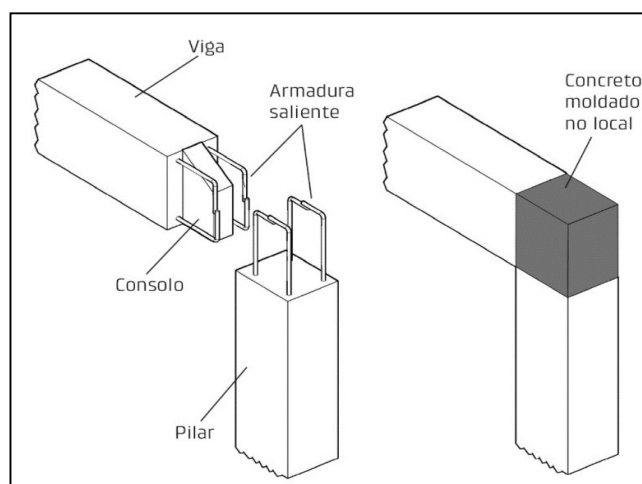
O plano de montagem contém instruções e sequência de montagem dos elementos, bem como detalhes de ligações e juntas permanentes, apoios e sistemas de suporte temporários, etc. (ABNT, 2017). Normalmente, nesse processo são utilizados equipamentos como guias de torre, autogruas, guindaste acoplado a caminhão, entre outros (EL DEBS, 2017).

El Debs (2017) aponta alguns recursos utilizados na ligação de elementos pré-moldados:

- a) Deixar parte da armadura saliente, e após a montagem, realizar a concretagem da ligação (Fig. 14);
- b) Conformação das extremidades dos elementos, através de recortes, encaixes e chaves;
- c) Solidarizarão dos elementos a partir de cabos de protensão;
- d) Conectores metálicos como perfis e chapas de aço, fixados nas faces externas dos elementos e ligados à armadura por meio de solda. O uso desses conectores permite utilizar alguns tipos de ligação comuns em estruturas metálicas, por meio de soldas e parafusos;

- e) Apoios de elastômeros promovem uma distribuição mais uniforme das tensões de contato nos apoios dos elementos e possibilitam deslocamentos horizontais e rotações nos apoios. O elastômero mais comum é o Neoprene (nome comercial);
- f) Argamassas e concretos de granulometria fina são usados para uniformizar tensões de contato ou preencher espaços, podendo ser usados na consistência fluída (grautes) ou não;

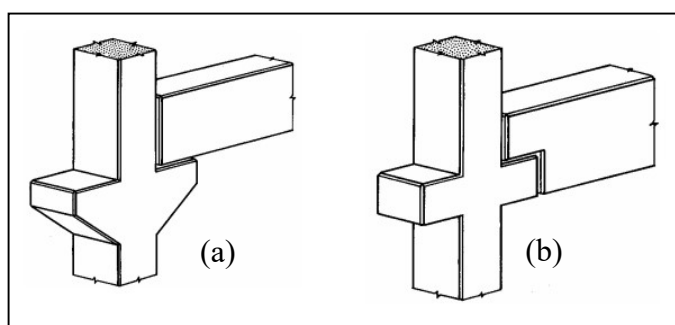
Figura 14 - Armadura saliente e concreto moldado no local



Fonte: El Debs (2017)

Os consolos de concreto (Fig. 15a) consistem em balanços bastante curtos que se projetam de pilares ou paredes para servir de apoio. Outros elementos semelhantes são os dentes Gerber (Fig. 15b). Também é possível empregar perfis metálicos para desempenhar o mesmo papel dos consolos de concreto (EL DEBS, 2017). São geralmente utilizados em ligações viga-pilar ou ligações viga-viga (ACKER, 2003).

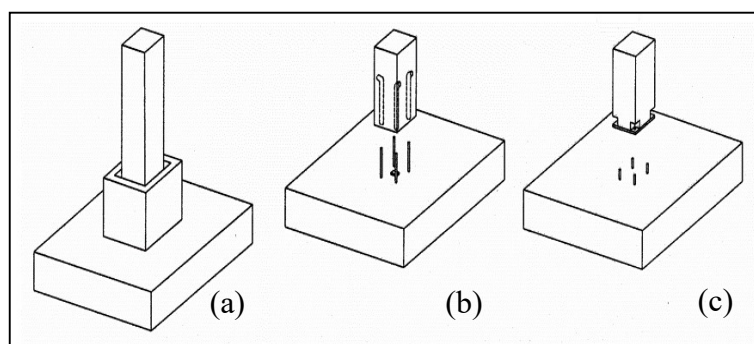
Figura 15 - Consolos e dentes Gerber



Fonte: Acker (2003)

As ligações entre pilar e fundações mais empregadas no Brasil são por meio de ligação com cálice (Fig. 16a), recorrendo a conformação do elemento de fundação de modo a permitir o encaixe do pilar. Em seguida, o espaço entre o cálice e o pilar é preenchido com concreto ou graute. Outra alternativa é o uso de uma chapa unida à armadura principal do pilar na base (Fig. 16c). O nível e o prumo são ajustados com porcas e contraporcas, e o espaço entre a chapa e a fundação é preenchido com argamassa seca ou graute. Também é possível unir pilar e fundação com uma armadura que se projeta de um dos elementos e é introduzida em bainhas do elemento adjacente, posteriormente preenchidas com graute (Fig. 16b) (EL DEBS, 2017).

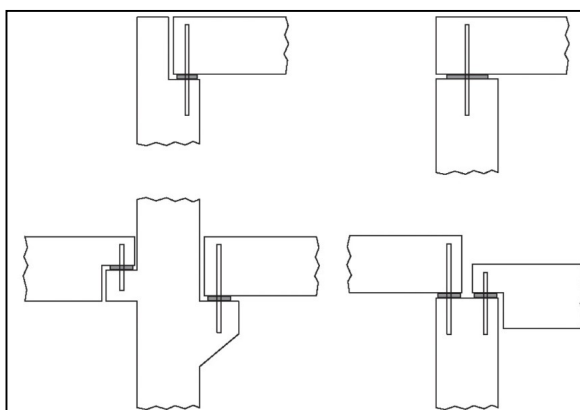
Figura 16 - Exemplos de ligação pilar-fundação



Fonte: Acker (2003)

O emprego de chumbadores e almofadas de apoio nas ligações viga-pilar é de uso intensivo no Brasil e no exterior. O espaço entre o chumbador e o furo pode ser sem preenchimento, caso a fixação seja feita por meio de porca e aduela, ou pode ser preenchido com material deformável, como asfalto ou mastique, ou graute autoadensável não retrátil (EL DEBS, 2017).

Figura 17 - Ligação viga-pilar com chumbadores e elastômero



Fonte: El Debs (2017)

2.2.4. BIM E PRÉ-FABRICAÇÃO

"É possível se obter um melhor projeto para a estrutura pré-moldada, se a estrutura for concebida com a pré-moldagem desde o projeto preliminar e não meramente adaptada de um método tradicional de concreto moldado no local" (ACKER, 2003). Quando a intenção de utilizar a pré-moldagem é designada suficientemente cedo no processo do projeto, o BIM pode ajudar a reduzir os custos e o tempo para construção (SACKS et al., 2021). No entanto, é muito comum que o método construtivo adotado seja definido apenas após a contratação da empresa construtora, sendo necessário voltar ao projeto arquitetônico, o que impede o pleno aproveitamento dos benefícios oferecidos pela pré-fabricação, ou até mesmo inviabilizando sua adoção (ABDI, 2015). Portanto, um dos fatores que justifica o baixo grau de industrialização no setor da construção civil no Brasil é a imprecisão nos projetos. São recorrentes os casos de investimentos em sistemas pré-moldados perdidos em função de imprevistos e imprecisões que dificultaram a montagem na obra, exigindo retrabalho e gastos adicionais (CBIC, 2016).

Os projetos de estruturas de concreto pré-moldado requerem maior grau de detalhamento dos desenhos e especificações, de modo a evitar improvisações que não são compatíveis com a pré-moldagem (EL DEBS, 2017). Vale ressaltar que a industrialização de ciclo aberto permite a adoção de diversos tipos de sistemas construtivos pré-fabricados na mesma edificação, ou até mesmo a combinação com outros sistemas construtivos, por exemplo: a associação de estrutura em concreto executado *in loco* com lajes pré-fabricadas.

São muitas opções que podem ser avaliadas desde a concepção arquitetônica juntamente à engenharia estrutural (ABDI, 2015). No BIM, é possível eliminar potenciais interferências com a verificação automática da coordenação geométrica. O procedimento de montagem também pode ser ensaiado com processos de "projeto e construção virtual" (CBIC, 2016). É recomendável estudar a "construtibilidade e logística da obra que envolvem a definição dos acessos, limites de comprimento de peças, ângulo para movimentação de guindastes e demais equipamentos, entre outros" (ABDI, 2015).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Estudo técnico com os fornecedores

Foram visitadas um total de cinco empresas localizadas em Palmas-TO: Premoll, Ipasa, Terra Branca, Constru-pré e Durax. De modo geral, as seções retangulares são predominantes na fabricação de vigas e pilares em Palmas-TO. Os pilares podem ser equipados com elementos de apoio como a “cabeça” e os consoles. As cabeças dos pilares suportam tesouras ou braços, enquanto os consoles retangulares ou trapezoidais servem de apoio às vigas, que por sua vez podem ou não ter recortes do tipo dente Gerber.

Figura 18 - Localização das empresas pesquisadas



Fonte: Autor (2022)

3.1.1. Premoll

A entrevista conduzida com a engenheira responsável pelos projetos estruturais de Premoll esclareceu uma particularidade da empresa: as medidas das peças fabricadas são padronizadas em múltiplos de 5 centímetros. A empresa é capaz de fabricar peças em diversas

medidas, mas possui uma relação com as principais seções utilizadas para vigas e pilares retangulares em projetos de galpões (Tabela 1).

Figura 19 - Instalações da fábrica da Premoll



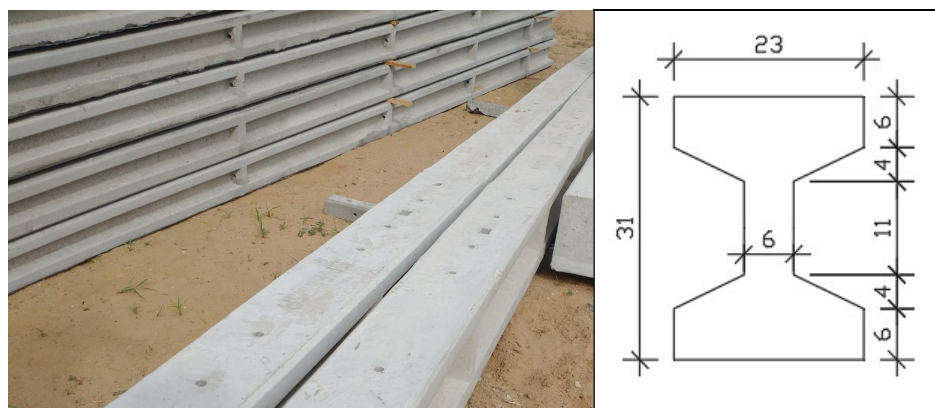
Fonte: Autor (2022)

Devido à indisponibilidade de vigas tesoura no pátio da fábrica, foi solicitado à empresa um croqui com as medidas das peças. As informações contidas no arquivo DWG encaminhado serviram como referência para a modelagem do objeto.

3.1.2. Ipasa

A Ipasa direcionou a sua produção para a fabricação de postes, não dispondo de peças estruturais para projetos de edificações. Porém, durante a visita ao pátio de armazenamento das peças, foi possível coletar as medidas das vigas de subestação de energia, disponíveis em seção retangular e seção “I”, sem dentes Gerber.

Figura 20 - Peças fabricadas pela Ipasa



Fonte: Autor (2022)

3.1.3. Terra Branca

A fábrica da Terra Branca, localizada no setor industrial de Taquaralto, produz pilares e vigas de seção retangular. Não há uma limitação exata quanto à variedade de dimensões das seções fabricadas. Portanto, as medidas realizadas nas peças disponíveis no pátio da fábrica foram utilizadas como referência para a relação na Tabela 1.

Figura 21 - Peças fabricadas pela Terra Branca



Fonte: Autor (2022)

3.1.4. Constru-Pré

A Constru-Pré projeta e executa edificações residenciais térreas utilizando pilares de seção “H” e painéis de concreto pré-moldado. Os pilares são padronizados com comprimento e largura totais de 10 cm, e altura de 3,20 m. A empresa não fabrica vigas pré-moldadas, uma vez que no modelo construtivo adotado em seus projetos as vigas são moldadas in loco.

Figura 22 - Pilar de seção “H” fabricado pela Constru-Pré



Fonte: Autor (2022)

3.1.4. Durax

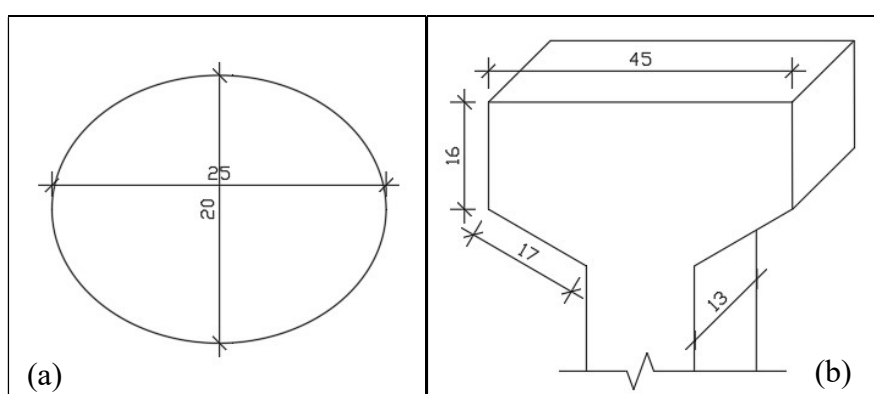
A Durax apresentou a maior variedade de formatos para pilares, dispondo de peças com cabeça dupla ou seção cilíndrica, além dos pilares retangulares tradicionais com cabeça simples e consoles. Devido à indisponibilidade de vigas no pátio para medição, o engenheiro da empresa foi consultado para indicar as principais seções fabricadas. Em relação às peças de seção retangular, a empresa limita a sua produção à três seções de pilares e duas seções de vigas.

Figura 23 - Peças fabricadas pela Durax



Fonte: Autor (2022)

Figura 24 - Medições da seção do pilar cilíndrico (a) e do pilar de cabeça dupla (b)



Fonte: Autor (2022)

3.1.5. Seções de vigas e pilares retangulares

Percebe-se que a maioria das empresas trabalha com a padronização das medidas das seções em múltiplos de 5 cm ou 10 cm, com exceção das vigas da Ipasa, de 23 x 31 e 29 x 39, e de um dos pilares medidos na Terra Branca com seção 28 x 30. A Premoll é a única fornecedora de pilares de seção quadrada (25 x 25). As seções retangulares de maior área é a de 30 x 60 para pilares, e a de 29 x 39 para vigas, fabricadas respectivamente pela Durax e pela Ipasa.

Tabela 1 - Seções de vigas e pilares retangulares de cada fabricante

Fabricante	Peça	Seções (cm)
Premoll	Vigas	15 x 30
		15 x 35
		15 x 40
		15 x 50
		15 x 55
		20 x 30
		20 x 50
		20 x 55
	Pilares	25 x 25
		25 x 30
		25 x 35
		25 x 40
		25 x 45
Ipasa	Vigas	23 x 31
		29 x 39
Terra Branca	Vigas	15 x 50
		20 x 50
	Pilares	20 x 30
		28 x 30
		30 x 40
Durax	Vigas	20 x 40
		30 x 40

	Pilares	20 x 40
		20 x 50
		30 x 60

Fonte: Autor (2022)

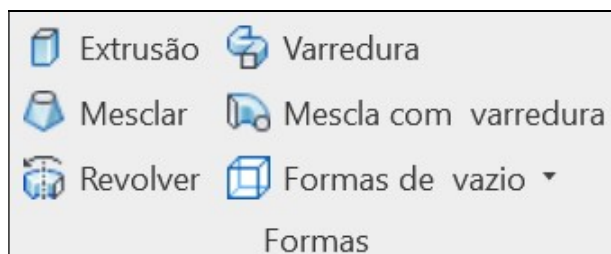
3.2 Modelagem das famílias

Ao iniciar a modelagem de uma família, é necessário selecionar um arquivo modelo. Para a modelagem dos pilares, por exemplo, foi selecionado o arquivo “Coluna Estrutural Métrica”, e para as vigas, o arquivo “Fundação estrutural métrica - Vigas e contraventamentos”. Os parâmetros geométricos da família serão controlados a partir de planos de referência, alguns já existentes nos templates escolhidos, e outros criados de acordo com a geometria específica do elemento. Os planos são representados como linhas verdes tracejadas.

3.2.1. Ferramentas de formas

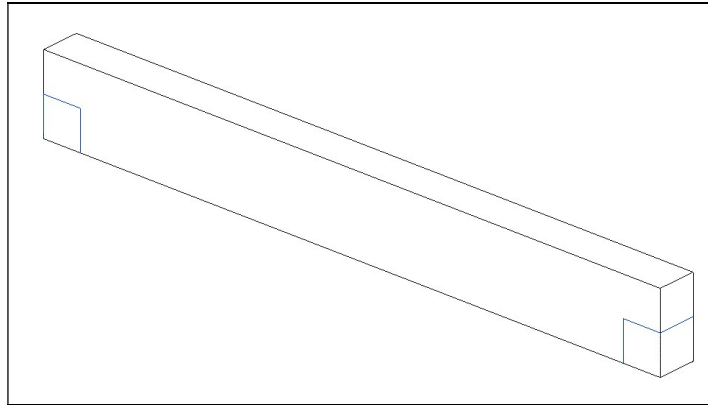
Para a criação de sólidos o Revit dispõe de diversas ferramentas de “formas”. A mais utilizada foi a extrusão, que cria um volume 3D a partir da extrusão do croqui de uma forma 2D. Também foram modeladas extrusões de vazio, que recortam parte de um sólido. A Figura 26 demonstra o exemplo da viga retangular modelada a partir de uma extrusão (linhas pretas), sendo recortada por duas extrusões de vazio (em linhas azuis), que criam os dentes Gerber.

Figura 25 - Ferramentas de “Formas”



Fonte: Autor (2022)

Figura 26 - Extrusão e formas de vazio

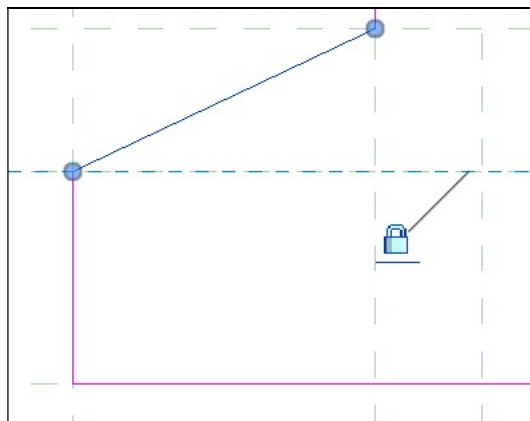


Fonte: Autor (2022)

3.2.2. Parâmetros de cota

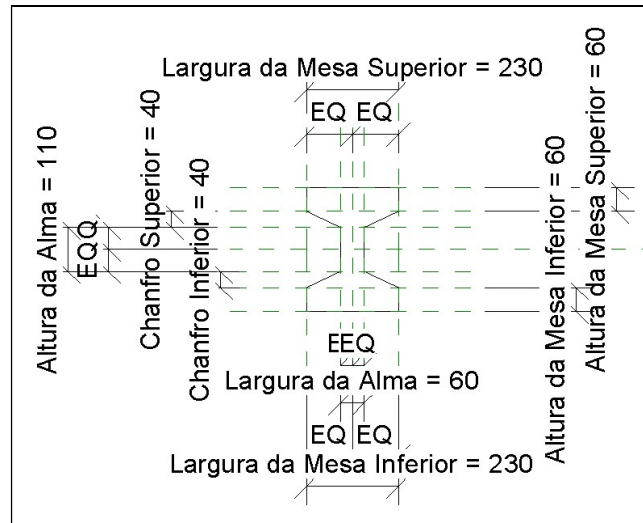
Concluída a forma, ao alinhar cada face do volume com um plano de referência, é possível vincular ambos selecionando o ícone de cadeado. Cada cota que relaciona dois planos pode ser associada a um parâmetro de cota de tipo ou instância, definido na janela “Propriedades de parâmetro”. Ao editar o valor do parâmetro, a cota associada é alterada, movendo os planos de referência e as faces a eles vinculadas.

Figura 27 - Ícone de cadeado que vincula face e plano de referência



Fonte: Autor (2022)

Figura 28 - Planos de referência que controlam os parâmetros de cota da seção da viga I



Fonte: Autor (2022)

Figura 29 - Janela “Propriedades de parâmetro”

Propriedades de parâmetros ✕

Tipo de parâmetro

Parâmetro de família
(Não pode aparecer em tabelas ou identificadores)

Parâmetros compartilhados
(Pode ser compartilhado por múltiplos projetos e famílias, exportado para ODBC, e aparecer em tabelas e identificadores)

Selecionar... Exportar...

Dados de parâmetro

Nome:

Disciplina: Comum

Tipo de parâmetro: Linear

Parâmetro de grupo sob: Cotas

Descrição da dica de ferramenta:
<Nenhuma descrição de dica de ferramenta. Edite este parâmetro para gravar u...

[Como posso criar os parâmetros da família?](#)

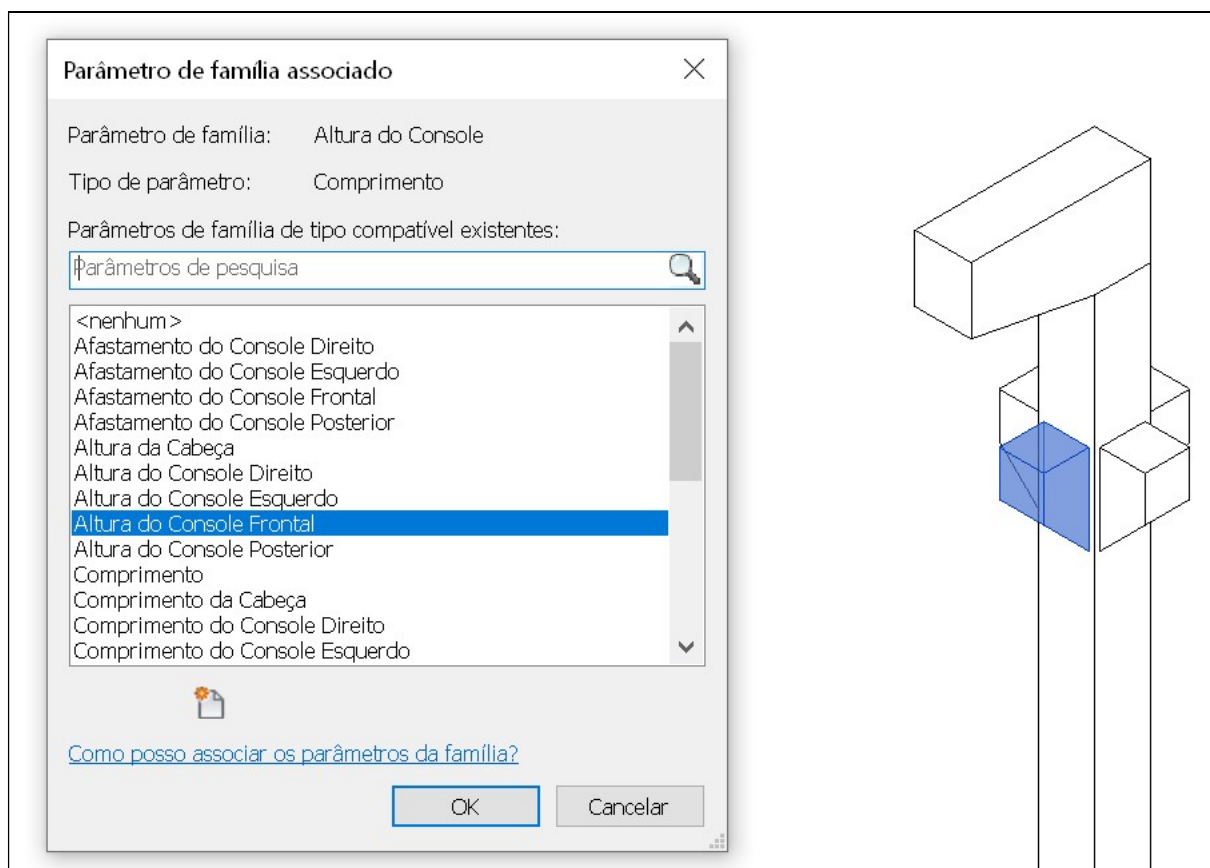
OK Cancelar

Fonte: Autor (2022)

3.2.3. Parâmetros de famílias aninhadas

Os consoles foram criados como uma família a parte, usando o template “Modelo Genérico Métrico com Base na Face”. Finalizada a modelagem da família, a mesma foi carregada dentro da família do pilar, com uma instância em cada umas das quatro faces do pilar. Quando se trabalha com famílias aninhadas, é possível associar os parâmetros da família inserida com os parâmetros da hospedeira. Dessa forma, na família hospedeira foram adicionados parâmetros de instância associados a cada parâmetro de cota dos consoles, nomeando os consoles como “console frontal”, “console posterior”, “console direito” e “console esquerdo”. Também foram criados os parâmetros de cota “Afastamento do console...”, que ajusta a posição horizontal do console na face do pilar, e o “Deslocamento do console...”, que determina a distância entre o topo do pilar e a face superior do console.

Figura 30 - Associação entre parâmetros da família aninhada e da família hospedeira



Fonte: Autor (2022)

De forma semelhante, a família “Cabeça do Pilar” foi modelada a partir do mesmo template que os consoles. Após ser importada dentro da família do pilar, os parâmetros “Altura” e “Comprimento Superior” da família aninhada foram associados aos parâmetros de instância “Altura da Cabeça” e “Comprimento da Cabeça” da família hospedeira.

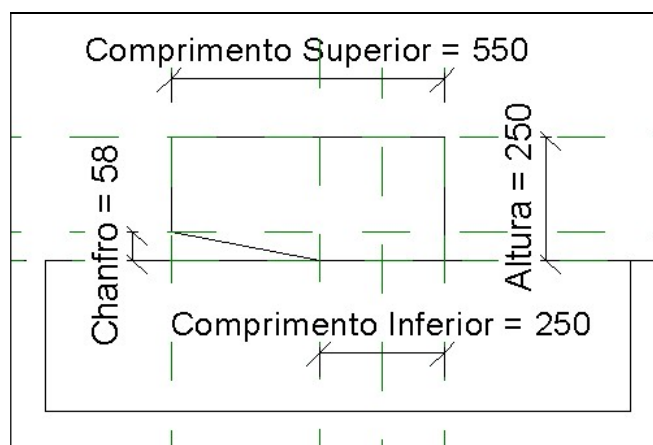
3.2.4. Parâmetros de visibilidade

É possível criar parâmetros que permitem “ligar” ou “desligar” elementos de acordo com a necessidade do projetista. O procedimento consiste em criar um parâmetro do tipo sim/não, e o associar à visibilidade de um elemento, como uma família aninhada ou extrusão. Dessa forma, os consoles, a cabeça do pilar e os recortes nas vigas podem ser ativados ou desativados ao clicar em uma caixa de seleção. É importante ressaltar que essa funcionalidade só está disponível para formas de vazio a partir da versão 2021 do software.

3.2.5. Parâmetros com fórmulas

A cabeça do pilar foi parametrizada de modo a permitir que o projetista ajuste a altura e o comprimento da peça, sempre mantendo, no entanto, a inclinação da face inferior chanfrada em aproximadamente 19,2%, conforme observado nas peças medidas em campo. Para tanto, foi criado o parâmetro de cota “chanfro”, cujo o valor foi editado na janela “Tipos de Família”, sendo definido pela fórmula da Figura 32.

Figura 31 - Vista lateral direita da cabeça do pilar e seus parâmetros de cota



Fonte: Autor (2022)

Figura 32 - Fórmula do parâmetro “Chanfro”

Cotas		
Altura	250.0	=
Comprimento Inferior	250.0	=
Comprimento Superior	550.0	=
Chanfro (padrão)	57.6	=(Comprimento Superior - Comprimento Inferior) * Inclinação
Largura	250.0	=
Outros		
Inclinação	0.192000	=

Fonte: Autor (2022)

3.2.6. Configuração dos tipos

Os tipos de cada família separada por fabricante foram configurados de acordo com as seções levantadas na primeira etapa do trabalho. No total, foram criadas 13 famílias e 33 tipos, relacionados no quadro do Apêndice A.

Ao importar uma dessas famílias em um projeto, é possível ter uma referência das peças produzidas pelos fabricantes a partir dos tipos configurados, bem como criar novos tipos para peças com dimensões personalizadas. Todas as famílias se enquadram no LOD 200, uma vez que representam o volume aproximado das peças, desconsiderando alguns detalhes como bainhas, chanfros, armadura e outros elementos dispensáveis em uma concepção inicial da estrutura. Também podem ser classificadas como paramétricas, uma vez que as suas principais características geométricas são controladas por parâmetros editáveis, também sendo possível personalizar parâmetros como material e marca de tipo.

3.3 Estudo prático com edificação térrea

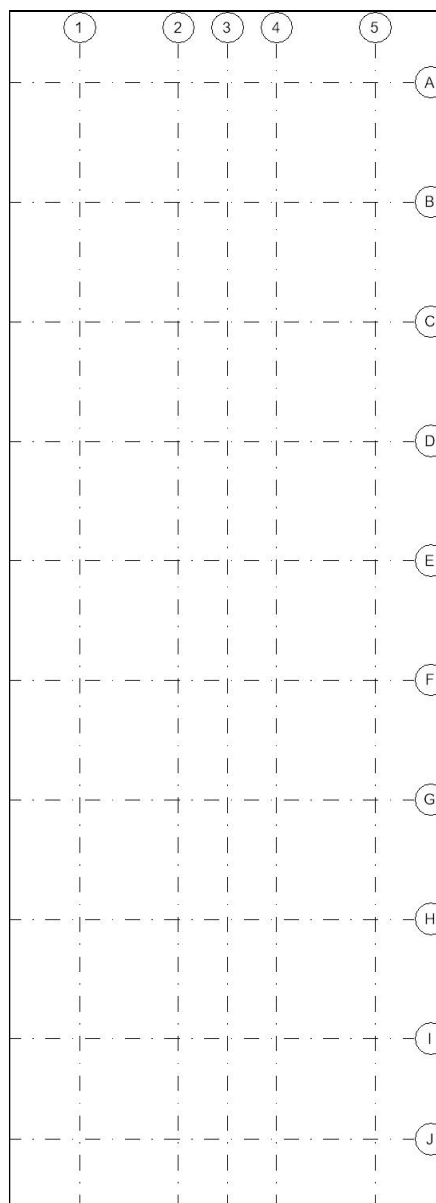
Para explorar o funcionamento das famílias criadas foi modelada a estrutura de uma edificação térrea com base em um projeto de forma fornecido pela Premoll. O arquivo foi disponibilizado em DWG, contendo a planta de locação dos pilares, planta da forma das vigas e dois cortes da edificação de 12,15 metros de vão livre por 43,60 de profundidade. O projeto conta com pilares de seção quadrada equipados com consoles quadrados ou trapezoidais e cabeças simples, além de vigas tesouras e vigas retangulares com ou sem dentes Gerber.

Ao iniciar um novo projeto no Revit, o programa permite selecionar um modelo de projeto dentre os arquivos da biblioteca do software (modelo de construção, de arquitetura,

mecânico, etc.), ou buscar um arquivo externo de modelo de projeto. Um modelo de projeto contém pré-configurações definidas como modelos de vista, famílias carregadas, unidades e escalas de vista, entre outras.

Selecionado o modelo estrutural, os níveis foram configurados de acordo com as informações do projeto: Térreo (0,00), Cintamento 1 (5,30) e Cintamento 2 (6,65). Em seguida, após abrir a planta estrutural do nível Térreo e importar o DWG contendo a planta de locação, foram criados os eixos que auxiliarão no posicionamento dos pilares.

Figura 33 - Eixos de locação dos pilares

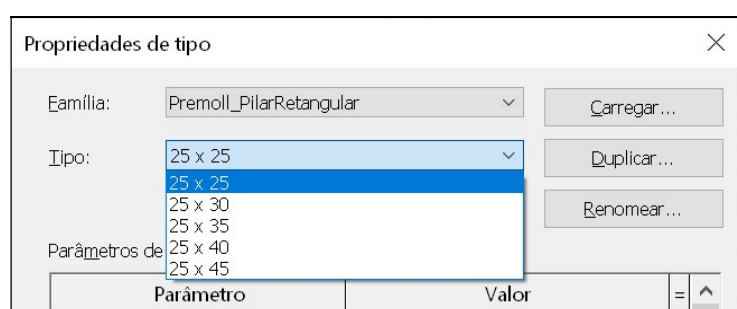


Fonte: Autor (2022)

3.3.1 Pilares

A aba “Estrutura” dispõe de diversas ferramentas para criar instâncias de elementos estruturais. Selecionada a opção “Coluna”, o software oferece a opção de inserir uma família pré-carregada do template, ou carregar uma família a partir de um arquivo. Após importar a família “Premoll_PilarRetangular.rfa”, é possível alterar o tipo na janela “Propriedades de Tipo”. A primeira opção “25 x 25”, corresponde a seção utilizada no projeto.

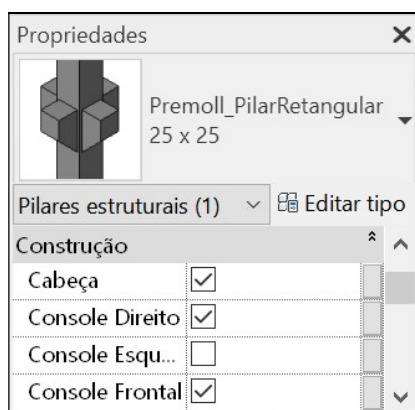
Figura 34 - Seleção do tipo



Fonte: Autor (2022)

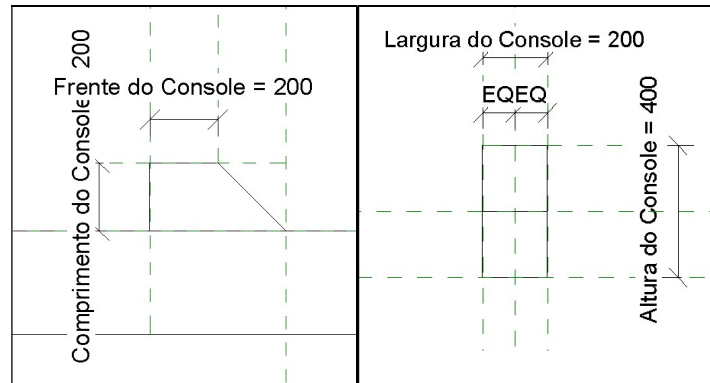
Posicionadas todos os pilares, para ajustar a posição e dimensões dos consoles basta manipular os parâmetros de instância da família. No pilar P1, por exemplo, foi desligada a visibilidade dos consoles esquerdo e posterior. O parâmetro de cota “deslocamento do console” se refere à distância entre o topo do pilar e o topo do console. Portanto, os dois consoles trapezoidais do pilar P1 no nível Térreo apresentam o mesmo deslocamento de 6,65 m, além das mesmas dimensões de altura, largura, comprimento e frente. O “afastamento” se refere à posição horizontal do console, também ajustável nos parâmetros de instância.

Figura 35 - Parâmetros de visibilidade das famílias aninhadas do pilar



Fonte: Autor (2022)

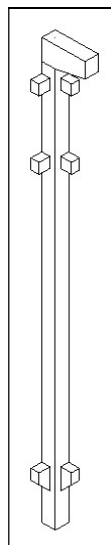
Figura 36 - Vistas do console e seus parâmetros de cota



Fonte: Autor (2022)

No projeto, todos os pilares apresentam pelos menos dois consoles em uma mesma face, em níveis diferentes. Considerando que cada console aninhado representa 7 parâmetros de instância cada, posicionar 4 consoles em três níveis diferentes durante a modelagem da família representaria um total de 84 parâmetros de instância, o que comprometeria a praticidade de uso da família. É possível posicionar consoles em diferentes níveis carregando a família “Console.rfa” no projeto, e anexando cada instância em sua devida posição na face de seus respectivos pilares. Para criar um console quadrado, basta igualar as dimensões “frente” e “altura”, ajustáveis através de parâmetros de instância semelhantes aos dos consoles da família do pilar. Dessa forma, foram inseridos e posicionados os consoles quadrados nos níveis Cintamento 1 e Cintamento 2.

Figura 37 - Vista 3D do pilar P1

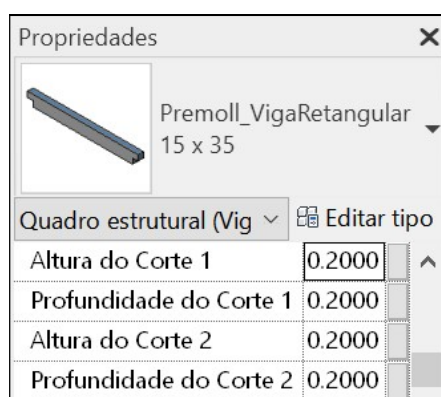


Fonte: Autor (2022)

3.3.2 Vigas

Para modelar as vigas, inicialmente foi necessário carregar a família “Premoll_VigaRetangular.rfa”, e posicionar as instâncias clicando nos dois pontos onde se encaixam as extremidades de cada viga. Para as vigas do térreo, foi utilizado o tipo “15 x 30”, desligando a visibilidade de ambos os recortes. Já nos níveis “Cintamento 1” e “Cintamento 2”, o tipo selecionado foi o “15 x 35”, com os dois recortes nas extremidades visíveis e nas dimensões 20 x 20 cm.

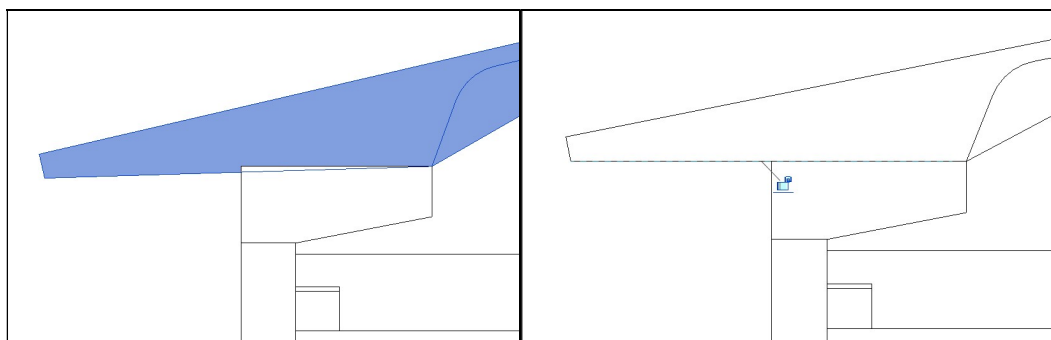
Figura 38 - Parâmetros de cota dos recortes da viga



Fonte: Autor (2022)

As tesouras foram criadas de forma semelhante. No entanto, após inserir a instância é necessário ajustar sua inclinação e posição. Uma forma de fazê-lo é ajustar os deslocamentos do nível inicial e final e, em seguida, assentar a face inferior da viga na face superior da cabeça do pilar com a ferramenta “Alinhar”.

Figura 39 - Ferramenta “Alinhar”

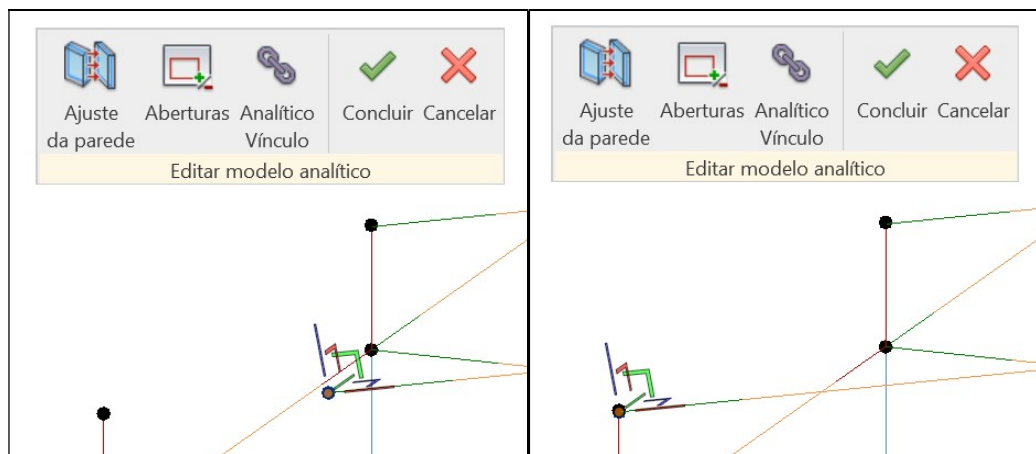


Fonte: Autor (2022)

3.3.3 Modelo Final

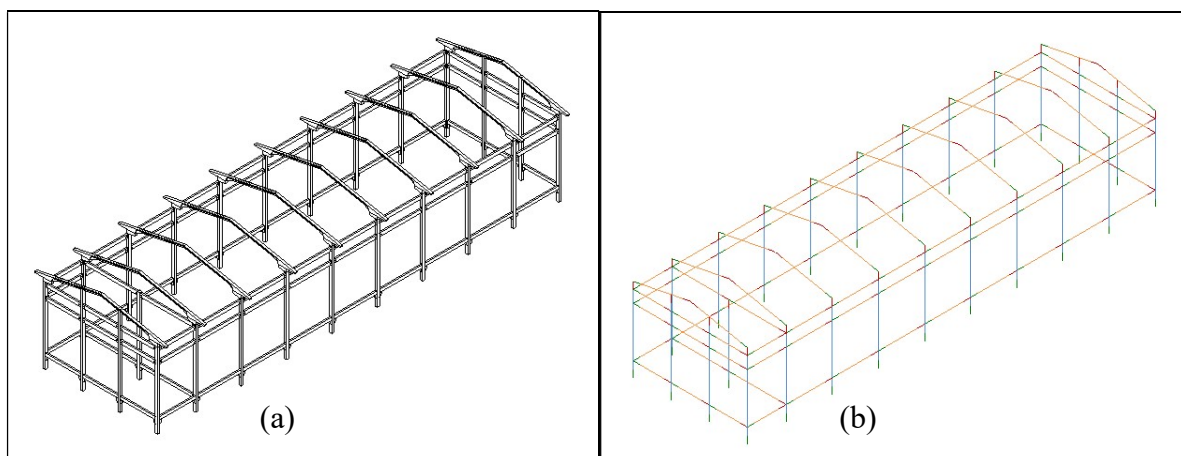
Ao criar um projeto com famílias estruturais, o Revit desenha um modelo analítico paralelamente ao modelo físico, no qual as vigas e pilares são representados através de barras. Caso as conexões não sejam feitas automaticamente pelo programa, basta ajustá-las com a ferramenta “Edição Analítica”. É possível atribuir materiais estruturais, condições de apoio e carregamentos a esse modelo, e em seguida exportá-lo para um software de análise estrutural como o Autodesk Robot, para calcular esforços, deslocamentos e deformações.

Figura 40 - Edição analítica



Fonte: Autor (2022)

Figura 41 - Modelo físico (a) e modelo analítico (b)



Fonte: Autor (2022)

3.3.4 Tabelas

Todos os elementos estruturais do projeto contêm um parâmetro de instância chamando “marca”, que permite identificar os pilares e as vigas. Esse procedimento é interessante para gerar tabelas automaticamente no Revit, contendo informações como seção, nível, comprimento e outros.

Figura 42 - Tabela de pilares

Marca	Tipo	Nível base	Deslocamento da base	Nível superior	Deslocamento superior	Comprimento
P1	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P2	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	1.47	9.67
P3	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	1.47	9.67
P4	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P5	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P6	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P7	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P8	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P9	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P10	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P11	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P12	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P13	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P14	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P15	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P16	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P17	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P18	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P19	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P20	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P21	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P22	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20
P23	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	1.47	9.67
P24	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	1.47	9.67
P25	25 x 25	Térreo	-1.55	Cintamento 2	0.00	8.20

Fonte: Autor (2022)

Figura 43 - Tabela de vigas tesoura

Marca	Tipo	Nível	Deslocamento do nível inicial	Deslocamento do nível final	Comprimento
T1	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T2	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T3	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T4	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T5	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T6	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T7	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T8	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T9	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T10	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T11	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T12	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T13	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T14	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T15	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T16	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T17	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T18	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T19	25 X 25		0.94	1.89	4.85
T20	25 X 25		0.94	1.89	4.85

Fonte: Autor (2022)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho, foi constatado que a pouca disponibilidade de recursos nos sites e repositórios de objetos BIM dificulta o compartilhamento de informações entre fabricantes e projetistas, no que se refere às características de produtos da indústria AEC. Essa escassez aliada ao desconhecimento por parte de muitos projetistas em relação aos procedimentos de modelagem e parametrização de objetos BIM, pode justificar a dificuldade de implementar essa nova tecnologia em diversos projetos.

Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo geral investigar a aplicação do BIM no contexto da construção pré-fabricada, através da criação de famílias no software Autodesk Revit.

Para tanto, o primeiro objetivo específico consistiu na investigação dos métodos de fabricação e dos produtos de diversas empresas da indústria de pré-fabricados em Palmas-TO. Através de medições e entrevista com membros das equipes de produção, foi possível reunir uma quantidade considerável de seções, que atenderam ao propósito de servir como referência para a criação de famílias. Embora fosse constatada a indisponibilidade de algumas peças nos pátios das empresas, as informações pendentes foram complementadas com arquivos em formato DWG.

O segundo objetivo específico refere-se a modelagem das famílias a partir das informações coletadas na primeira etapa da pesquisa. Esse propósito foi alcançado, uma vez que as famílias criadas foram equipadas com diversos parâmetros editáveis, e tipos configurados de forma a favorecer a representação dos produtos reais como objetos BIM. O nível de detalhamento obtido é compatível com a finalidade de modelar a concepção de uma estrutura pré-fabricada.

Já o terceiro objetivo tratava-se de avaliar o funcionamento das famílias por meio da modelagem de uma edificação real, cujo projeto foi cedido por uma das empresas estudadas. Os parâmetros funcionaram conforme esperado, demonstrando também como o uso de objetos BIM parametrizados auxilia na modelagem e no levantamento de informações necessárias para outros processos como quantificação e análise estrutural.

A hipótese da qual partiu a pesquisa indicava que os templates de famílias e as ferramentas de parametrização fornecidas pelo Revit permitiam a criação de objetos BIM que representassem elementos estruturais pré-fabricados. Tal afirmação foi confirmada, visto que

as famílias obtidas permitem ao projetista ter uma referência de diversas peças fabricadas na região de Palmas, assim como editar seus parâmetros para criar outras variações dos elementos pré-fabricados modelados.

4.1 Contribuições da dissertação

O acervo de famílias criadas tem como finalidade auxiliar projetistas na concepção de estruturas pré-fabricadas, proporcionando diversas vantagens que a metodologia BIM oferece frente aos processos projetuais tradicionais. Após serem carregadas em um modelo, as famílias podem ser ajustadas a partir de seus parâmetros de tipo e instância, e todas as modificações são assimiladas automaticamente pelo software, agilizando o processo de modelagem, criação de vistas, tabelas e outros recursos. Essas funcionalidades representam avanços em termos de produtividade e eliminação de retrabalhos.

Além disso, os conhecimentos reunidos durante o processo de modelagem das famílias podem auxiliar a quem pretende conhecer melhor as ferramentas do Revit para a criação de objetos BIM, e assim estender a parametrização a outros tipos de produtos da construção civil.

4.2 Trabalhos futuros

Diante do desenvolvimento do trabalho desenvolvido, é possível identificar algumas oportunidades de desdobramento da pesquisa para além das limitações da metodologia escolhida.

Seria viável, por exemplo, selecionar uma fabricante e desenvolver um arquivo de modelo de projeto. Ao criar um novo projeto a partir desse arquivo, já estariam definidas algumas pré-configurações como pranchas, modelos de vistas e famílias carregadas.

Expandir o horizonte geográfico e pesquisar outros sistemas construtivos pré-fabricados como lajes, fundações, painéis e peças especiais, permitiria reunir uma variedade maior de produtos fabricados nacionalmente. Também é possível estudar a parametrização de elementos pertencentes a outros sistemas de uma edificação, como equipamentos hidráulicos e elétricos.

Ainda dentro do contexto da pré-fabricação, podem ser levantadas informações que auxiliem na modelagem de detalhes como elementos de conexão, acessórios de manuseio das

peças e detalhamentos de armadura, permitindo avaliar a criação de famílias com LODs superiores. Um maior nível de detalhamento associado à configuração das famílias com dados de custos possibilitaria gerar quantitativos assertivos, por exemplo.

Por fim, o BIM abrange uma variedade muito além do modelo 3D, possibilitando explorar outros aspectos projetuais como orçamentação, planejamento, análises de custo e outros. Após atribuir um material estrutural às famílias, configurar os carregamentos e condições de apoio, o modelo analítico gerado através do modelo 3D pode ser exportado para algum software de análise estrutural, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Manual da Construção Industrializada**. Brasília, 2015.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Processo de Projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**. Brasília: ABDI, 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2017.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução: Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: ABCIC, 2003.

AUTODESK – **Revit Features**. Disponível em <https://www.autodesk.com.br/products/revit/features>. Acesso em: 03 fev. 2022.

AUTODESK – **Sobre as famílias**. Disponível em <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html>. Autodesk, 2020a. Acesso em: 03 fev. 2022.

AUTODESK – **Sobre os diferentes tipos de famílias**. Disponível em <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Model/files/GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html>. Autodesk, 2020b. Acesso em: 03 fev. 2022.

AYRES FILHO, C.; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. Workshop brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios: Curitiba, 2007.

AZUL, Isabella Silva de Serro. **Sistemas construtivos pré-fabricados de concreto armado: habitações contemporâneas no Brasil**. Universidade Presbiteriana Mackenzie: São Paulo, 2018.

BEDRICK, J.; IKERD, W.; REINHARDT, J. **Level of development (lod) specification for building information models: part i, guide, & commentary**. BIMForum, 2021. Disponível em: www.bimforum.org/lod. Acesso em: 28 jan. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 10.306, de 2 de Abril De 2020. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 abr. 2020. Seção 1, p.5.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco et al. **Entendendo BIM - Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação**. 1. ed. Curitiba: s.n., 2015.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Fundamentos BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016.

EL DEBS, M.K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

HARDIN, Brad; MCCOOL, Dave. **BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows**. 2.ed. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, 2015.

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R.; SCHIPPOREIT, G. **Two approaches to BIM: A Comparative Study**. eCAADe Conference: Copenhagen, 2004.

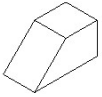
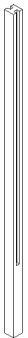
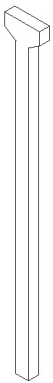

KASSEM, Mohamad; AMORIM, Sergio R. Leusin de. **BIM Building Information Modeling No Brasil e na União Europeia**. Teeside University, 2015.

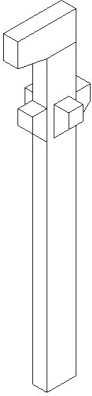
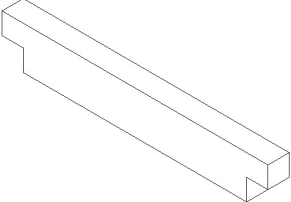
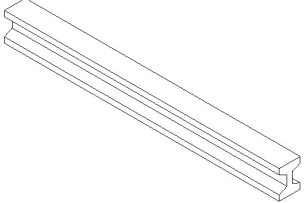
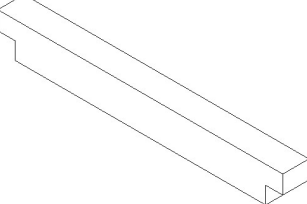
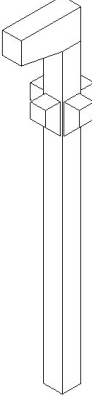
MCGRAW HILL. **The Business Value of BIM for Construction in Global Markets**. McGraw Hill Construction: Bedford, 2014.

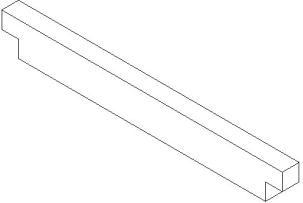
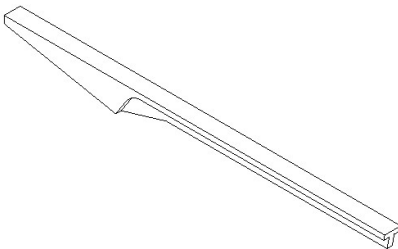
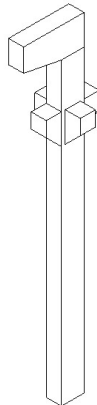
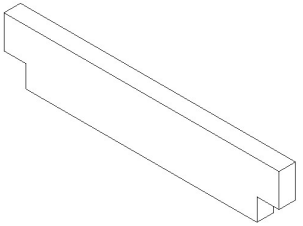
SACKS, Rafael et al. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2021.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**, volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

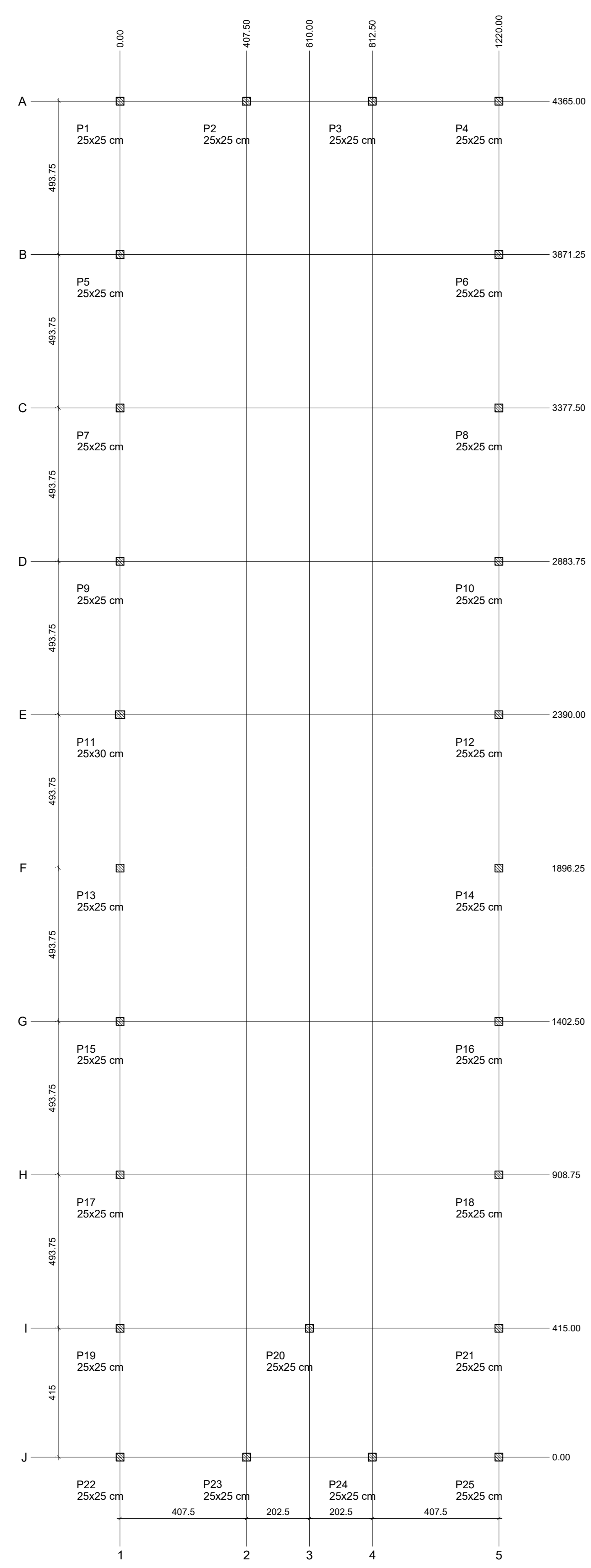
APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS ARQUIVOS DE FAMÍLIAS

Família	Vista 3D	Tipos
Console.rfa		-
ConstruPre_PilarH.rfa		10 x 10
Durax_PilarCabecaDupla.rfa		13 x 16
Durax_PilarCilindrico.rfa		20 x 25

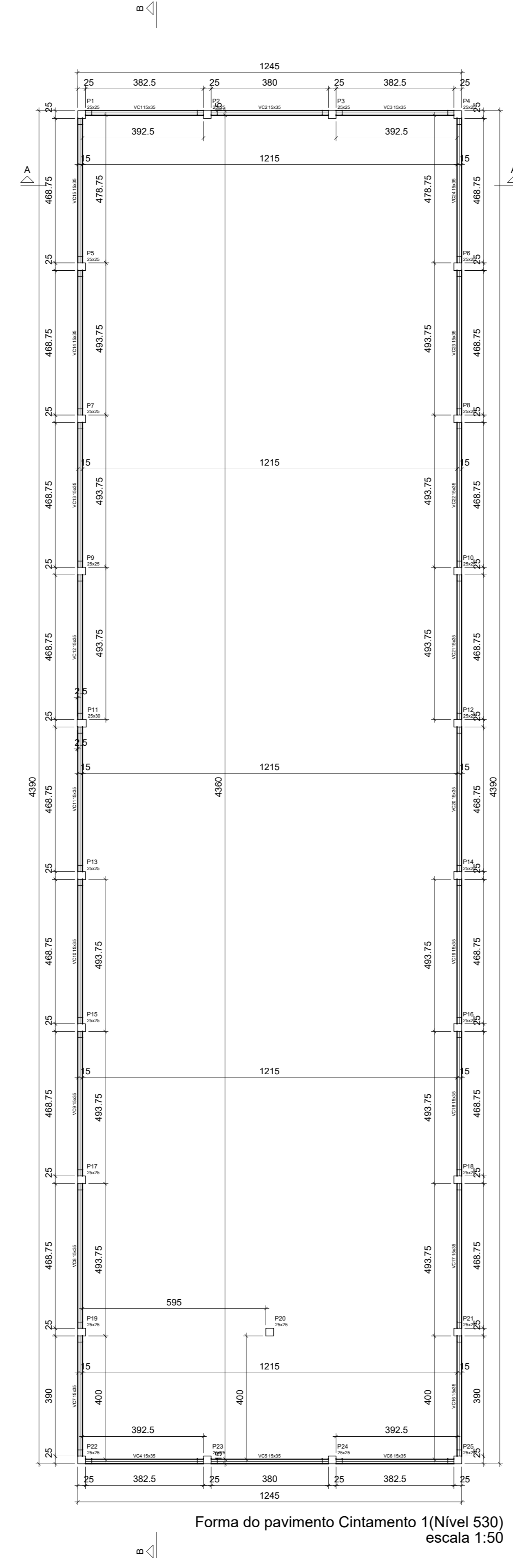
Durax_PilarRetangular.rfa		<p>20 x 40 20 x 50 30 x 60</p>
Durax_VigaRetangular.rfa		<p>20 x 40 30 x 40</p>
Ipasa_VigaI.rfa		<p>23 x 31</p>
Ipasa_VigaRetangular.rfa		<p>23 x 31 29 x 39</p>
Premoll_PilarRetangular.rfa		<p>25 x 25 25 x 30 25 x 35 25 x 40 25 x 45</p>

<p>Premoll_VigaRetangular.rfa</p>		<p>15 x 30 15 x 35 15 x 40 15 x 50 15 x 55 20 x 30 20 x 50 20 x 55</p>
<p>Premoll_VigaTesoura.rfa</p>		<p>25 x 25 25 x 30 25 x 40 25 x 50</p>
<p>TerraBranca_PilarRetangular.rfa</p>		<p>20 x 30 28 x 38 30 x 40</p>
<p>TerraBranca_VigaRetangular.rfa</p>		<p>15 x 50 20 x 50</p>

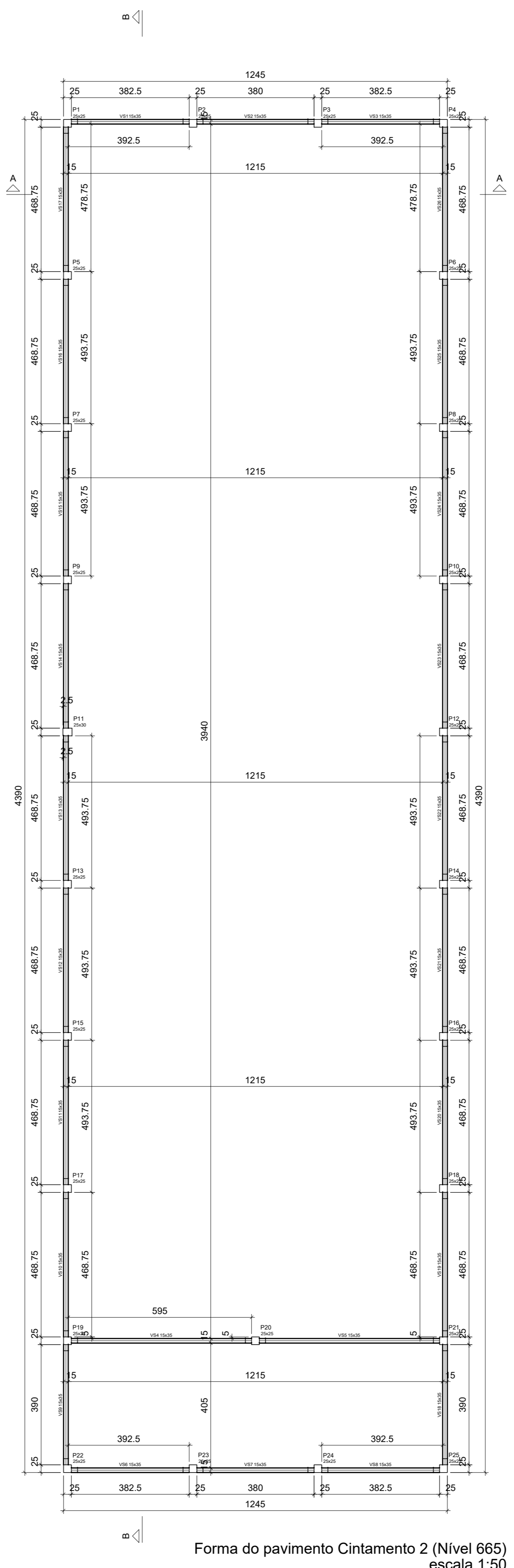
ANEXO A - PROJETO DE FORMAS DA PARÓQUIA CORAÇÃO DE MARIA



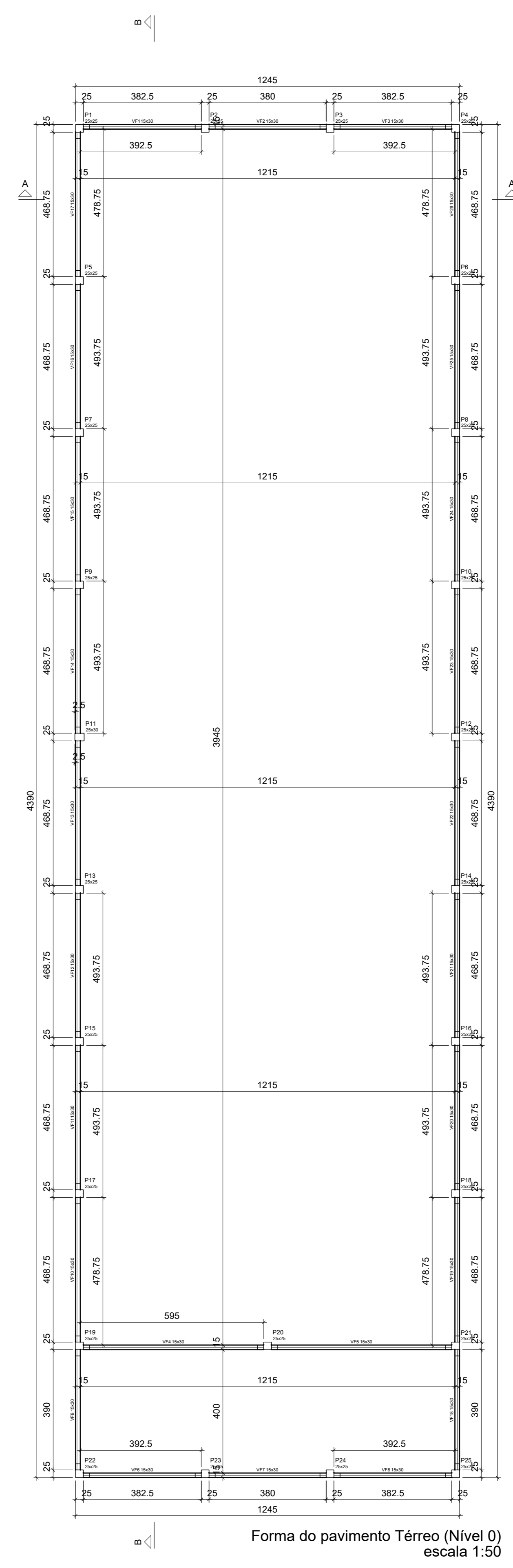
Pilar		
Nome	Seção (cm)	Nível (cm)
P1	25x25	0.00
P2	25x25	407.50
P3	25x25	812.50
P4	25x25	1220.00
P5	25x25	0.00
P6	25x25	1220.00
P7	25x25	0.00
P8	25x25	1220.00
P9	25x25	0.00
P10	25x25	1220.00
P11	25x30	0.00
P12	25x25	1220.00
P13	25x25	0.00
P14	25x25	1220.00
P15	25x25	0.00
P16	25x25	1220.00
P17	25x25	0.00
P18	25x25	1220.00
P19	25x25	0.00
P20	25x25	610.00
P21	25x25	1220.00
P22	25x25	0.00
P23	25x25	407.50
P24	25x25	812.50
P25	25x25	1220.00



Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
VC1	15x35	0	530
VC2	15x35	0	530
VC3	15x35	0	530
VC4	15x35	0	530
VC5	15x35	0	530
VC6	15x35	0	530
VC7	15x35	0	530
VC8	15x35	0	530
VC9	15x35	0	530
VC10	15x35	0	530
VC11	15x35	0	530
VC12	15x35	0	530
VC13	15x35	0	530
VC14	15x35	0	530
VC15	15x35	0	530
VC16	15x35	0	530
VC17	15x35	0	530
VC18	15x35	0	530
VC19	15x35	0	530
VC20	15x35	0	530
VC21	15x35	0	530
VC22	15x35	0	530
VC23	15x35	0	530
VC24	15x35	0	530



Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
VS1	15x35	0	665
VS2	15x35	0	665
VS3	15x35	0	665
VS4	15x35	0	665
VS5	15x35	0	665
VS6	15x35	0	665
VS7	15x35	0	665
VS8	15x35	0	665
VS9	15x35	0	665
VS10	15x35	0	665
VS11	15x35	0	665
VS12	15x35	0	665
VS13	15x35	0	665
VS14	15x35	0	665
VS15	15x35	0	665
VS16	15x35	0	665
VS17	15x35	0	665
VS18	15x35	0	665
VS19	15x35	0	665
VS20	15x35	0	665
VS21	15x35	0	665
VS22	15x35	0	665
VS23	15x35	0	665
VS24	15x35	0	665
VS25	15x35	0	665
VS26	15x35	0	665



Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
VF1	15x30	0	0
VF2	15x30	0	0
VF3	15x30	0	0
VF4	15x30	0	0
VF5	15x30	0	0
VF6	15x30	0	0
VF7	15x30	0	0
VF8	15x30	0	0
VF9	15x30	0	0
VF10	15x30	0	0
VF11	15x30	0	0
VF12	15x30	0	0
VF13	15x30	0	0
VF14	15x30	0	0
VF15	15x30	0	0
VF16	15x30	0	0
VF17	15x30	0	0
VF18	15x30	0	0
VF19	15x30	0	0
VF20	15x30	0	0
VF21	15x30	0	0
VF22	15x30	0	0
VF23	15x30	0	0
VF24	15x30	0	0
VF25	15x30	0	0
VF26	15x30	0	0

