



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALISSON ROBERTO PAIVA TEJO

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE
CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

JOÃO PESSOA
2022

ALISSON ROBERTO PAIVA TEJO

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE
CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso entregue ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

T261v Tejo, Alisson R P.

Viabilidade da utilização de estruturas
pré-fabricadas de concreto armado em uma edificação
residencial / Alisson R P Tejo. - João Pessoa, 2022.
127 f. : il.

Orientação: Enildo Tales Ferreira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Concreto. 2. Estruturas. 3. Pré-fabricado. 4.
Orçamento. 5. Viabilidade. I. Ferreira, Enildo Tales.
II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALISSON ROBERTO PAIVA TEJO

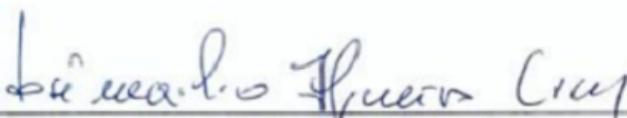
VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso em 22/06/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:



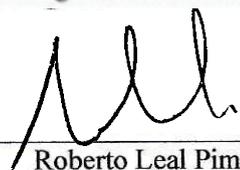
Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



José Márcilio Filgueiras Cruz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO.



Roberto Leal Pimentel
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Prof^ª. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por tudo que tem feito e ainda há de fazer por mim, jamais me desamparando.

Aos meus pais e meus irmãos, por todo suporte e apoio dado em vista de me ajudar a alcançar os meus objetivos e sonhos.

Ao professor Enildo Tales Ferreira, pela disposição e prestatividade durante a orientação do trabalho, repassando conhecimentos que se mostraram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos demais professores que contribuíram com minha formação como Engenheiro Civil.

Por fim, aos companheiros de curso, os quais nos últimos 5 anos compartilharam de uma mesma jornada, tanto em tempos difíceis, através de cooperação mútua no aprendizado, quanto em momentos de descontração e leveza.

*“A suficiência dos meus méritos está em saber
que meus méritos não são suficientes.”*

Agostinho de Hipona

RESUMO

O setor da construção civil apresenta um desenvolvimento tecnológico relativamente atrasado quando comparada a outros ramos da indústria. No Brasil, esse problema é ainda mais perceptível, e um dos motivos que contribui para isso é a predominância da utilização de estruturas de concreto armado moldado no local, em detrimento de outras técnicas, entre elas a pré-moldagem. Deste modo, as estruturas pré-fabricadas de concreto armado se apresentam como uma alternativa para a melhora das atuais condições de produção na construção, visto que o processo industrializado proporciona diversas vantagens. Para edificações residenciais, todavia, a utilização de elementos pré-fabricados enfrenta adversidades, como as particularidades de cada projeto de arquitetura. Perante o exposto, o presente trabalho visa avaliar a viabilidade do emprego de estruturas pré-fabricadas de concreto armado para um edifício residencial de dois pavimentos. Para isso, foram desenvolvidos um projeto estrutural para estruturas de concreto armado moldadas no local e outro para estruturas pré-fabricadas de concreto armado para o edifício em questão, decorrendo em um orçamento para cada situação, o que possibilitou a realização de uma comparação entre as duas situações em vista da perspectiva econômica. Observou-se que a estrutura pré-fabricada apresentou um custo total aproximadamente 7% menor que o da estrutura de concreto armado moldado no local, constatando que, para esse caso específico, a utilização de elementos pré-fabricados de concreto armado se mostrou viável.

Palavras chaves: concreto; estruturas; orçamento; pré-fabricado; viabilidade.

ABSTRACT

The construction sector has a relatively delayed technological development when compared to other branches of industry. In Brazil, this problem is even more noticeable, and one of the reasons for this is the predominance of the use of reinforced concrete structures molded in the site, to the detriment of other techniques, including precast concrete. Thus, the precast structures of reinforced concrete are an alternative for the improvement of the current conditions of production in the construction, since the industrialized process provides several advantages. For residential buildings, however, the use of precast elements faces adversities, such as the particularities of each architectural design. This present study aims to evaluate the viability of using precast reinforced concrete structures for a two-floors residential building. For this, a structural design was developed for reinforced concrete structures molded on site and another for precast concrete structures for the building in question, resulting in a budget for each situation, which allowed the realization of a comparison between the scenarios, considering the economic perspective. It was observed that the precast structure presented approximately a 7% lower total cost than the reinforced concrete structure molded on site, implying, for this specific case, that the use of precast elements of reinforced concrete proved viable.

Key-words: budget; concrete; precast; structures; viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Lançamento de concreto em bloco de coroamento	21
Figura 02 – Esquema de uma estrutura engastada.....	22
Figura 03 – Estoque de elementos estruturais pré-fabricados	28
Figura 04 – Ciclo de execução da forma móvel	29
Figura 05 – Transporte de elementos pré-fabricados de concreto armado.....	30
Figura 06 – Sistema estrutural de esqueleto com núcleo central.....	35
Figura 07 – Plantas baixas do pavimento térreo e do pavimento superior	38
Figura 08 – Definição de carregamento no software TQS versão 23.....	42
Figura 09 – Isopleta de velocidades do vento.....	43
Figura 10 – Eixos estruturais	45
Figura 11 – Tela de configurações de pilares a serem inseridos	49
Figura 12 – Visualização 3D da estrutura de concreto moldado no local	49
Figura 13 – Planta de forma dos pavimentos superior e da cobertura.....	51
Figura 14 – Disposição dos pilares e vigas pré-fabricados	53
Figura 15 – Dimensões dos consolos (cm).....	53
Figura 16 – Regiões construtivas	54
Figura 17 – Detalhe da armadura do pilar	56
Figura 18 – Plantas de forma do pavimento superior e da cobertura	56
Figura 19 - Planta baixa do pavimento térreo.....	85
Figura 20 - Planta baixa do pavimento superior.....	86
Figura 21 - Corte AA.....	87
Figura 21 - Corte BB	87
Figura 22 - Planta de forma pavimento térreo da estrutura moldada no local (nível 0,00).....	92
Figura 23 - Planta de forma pavimento superior da estrutura moldada no local (+3,00).....	93
Figura 24 - Planta de forma cobertura da estrutura moldada no local (nível +6,00).....	94
Figura 25 – Detalhe das armaduras dos pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P9, P10 e P12	95
Figura 26 - Detalhe da armadura do pilar P8.....	96
Figura 27 - Detalhe da armadura do pilar P11.....	97
Figura 28 - Armadura da viga baldrame V1 – pavimento térreo (nível 0,00).....	98
Figura 29 - Armadura da viga baldrame V2 – pavimento térreo (nível 0,00).....	98
Figura 30 - Armadura da viga baldrame V3 – pavimento térreo (nível 0,00).....	98

Figura 31 - Armadura da viga baldrame V4 – pavimento térreo (nível 0,00).....	99
Figura 32 - Armadura da viga baldrame V5 – pavimento térreo (nível 0,00).....	99
Figura 33 - Armadura da viga baldrame V6 – pavimento térreo (nível 0,00).....	99
Figura 34 - Armadura da viga baldrame V7 – pavimento térreo (nível 0,00).....	100
Figura 35 - Armadura da viga baldrame V8 – pavimento térreo (nível 0,00).....	100
Figura 36 - Armadura da viga baldrame V9 – pavimento térreo (nível 0,00).....	100
Figura 37 - Armadura da viga baldrame V10 – pavimento térreo (nível 0,00).....	101
Figura 38 - Armadura da viga baldrame V11 – pavimento térreo (nível 0,00).....	101
Figura 39 - Armadura da viga baldrame V12 – pavimento térreo (nível 0,00).....	101
Figura 40 - Armadura da viga V1 – pavimento superior (nível +3,00).....	102
Figura 41 - Armadura da viga V2 – pavimento superior (nível +3,00).....	102
Figura 42 - Armadura da viga V3 – pavimento superior (nível +3,00).....	102
Figura 43 - Armadura da viga V4 – pavimento superior (nível +3,00).....	103
Figura 44 - Armadura da viga V5 – pavimento superior (nível +3,00).....	103
Figura 45 - Armadura da viga V6 – pavimento superior (nível +3,00).....	103
Figura 46 - Armadura da viga V7 – pavimento superior (nível +3,00).....	104
Figura 47 - Armadura da viga V8 – pavimento superior (nível +3,00).....	104
Figura 48 - Armadura da viga V9 – pavimento superior (nível +3,00).....	104
Figura 49 - Armadura da viga V10 – pavimento superior (nível +3,00).....	105
Figura 50 - Armadura da viga V1 – cobertura (nível +6,00).....	105
Figura 51 - Armadura da viga V2 – cobertura (nível +6,00).....	105
Figura 52 - Armadura da viga V3 – cobertura (nível +6,00).....	106
Figura 53 - Armadura da viga V4 – cobertura (nível +6,00).....	106
Figura 54 - Armadura da viga V5 – cobertura (nível +6,00).....	106
Figura 55 - Armadura da viga V6 – cobertura (nível +6,00).....	107
Figura 56 - Armadura da viga V7 – cobertura (nível +6,00).....	107
Figura 57 - Armadura da viga V8 – cobertura (nível +6,00).....	107
Figura 58 - Armadura da viga V9 – cobertura (nível +6,00).....	108
Figura 59 - Armadura da viga V10 – cobertura (nível +6,00).....	108
Figura 60 – Planta de forma pavimento superior da estrutura pré-fabricada (nível +3,00) ...	109
Figura 61 – Planta de forma cobertura da estrutura pré-fabricada (nível +6,00)	110
Figura 62 – Forma padrão dos pilares pré-fabricados	111
Figura 63 – Forma da viga pré-fabricada VPF-1	111
Figura 64 – Forma da viga pré-fabricada VPF-2.....	112

Figura 65 – Forma da viga pré-fabricada VPF-3.....	112
Figura 66 – Forma da viga pré-fabricada VPF-4.....	112
Figura 67 – Forma da viga pré-fabricada VPF-5.....	113
Figura 68 – Forma da viga pré-fabricada VPF-6.....	113
Figura 69 – Forma da viga pré-fabricada VPF-7.....	113
Figura 70 – Forma da viga pré-fabricada VPF-8.....	114
Figura 71 – Forma da viga pré-fabricada VPF-9.....	114
Figura 72 – Forma da viga pré-fabricada VPF-10.....	114
Figura 73 – Forma da viga pré-fabricada VPF-11.....	115
Figura 74 – Forma da viga pré-fabricada VPF-12.....	115
Figura 75 – Forma da viga pré-fabricada VPF-13.....	115
Figura 76 – Forma da viga pré-fabricada VPF-14.....	116
Figura 77 – Forma da viga pré-fabricada VPF-15.....	116
Figura 78 – Forma da viga pré-fabricada VPF-16.....	116
Figura 79 – Forma da viga pré-fabricada VPF-17.....	117
Figura 80 – Forma da viga pré-fabricada VPF-18.....	117
Figura 81 – Forma da viga pré-fabricada VPF-19.....	117
Figura 82 – Forma da viga pré-fabricada VPF-20.....	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Pré-dimensionamento de vigas de concreto	46
Gráfico 02 – Pré-dimensionamento de pilares quanto à altura sem travamento	47
Gráfico 03 – Pré-dimensionamento de pilares quanto à altura total	47
Gráfico 04 – Pré-dimensionamento de lajes de concreto	48
Gráfico 05 – Percentual de gastos por destinação	75
Gráfico 06 – Curva ABC do projeto estrutural para concreto moldado no local	76
Gráfico 07 – Curva ABC do projeto estrutural para concreto armado pré-fabricado	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Termos e definições apresentados pela NBR 6118:2014	22
Quadro 02 – Métodos de dimensionamento do concreto armado	24
Quadro 03 – Tipos de concreto pré-moldado	26
Quadro 04 – Termos e definições.....	27
Quadro 05 – Classificação das ligações quanto ao tipo de esforço transmitido.....	33
Quadro 06 – Classificação das ligações em elementos de barra	34
Quadro 07 – Recomendações de comprimentos e vãos dos elementos.....	35
Quadro 08 – Limitações da avaliação gratuita do TQS versão 23	36
Quadro 09 – Elementos estruturais e respectivas cargas consideradas	41
Quadro 10 – Tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados	84
Quadro 11 – Pesos específicos de materiais diversos	88
Quadro 12 – Cargas variáveis sobre edifícios residenciais	89
Quadro 13 – Cargas referentes a alvenaria.....	89
Quadro 14 – Cargas decorrentes de revestimentos de piso e impermeabilizações	90
Quadro 15 – Peso das telhas	90
Quadro 16 – Peso dos telhados.....	91
Quadro 17 – Peso dos enchimentos.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Deslocamentos máximos na estrutura	50
Tabela 02 – Deslocamentos na estrutura pré-fabricada de concreto armado	55
Tabela 03 – Deslocamentos verticais máximos por pavimento	55
Tabela 04 – Peso específico do aço em função das bitolas	58
Tabela 05 – Composição para o concreto moldado <i>in loco</i>	61
Tabela 06 – Composições para o serviço de armação	62
Tabela 07 – Composições para os serviços relacionados às formas.....	63
Tabela 08 – Composição para lajes treliçadas de 16cm	64
Tabela 09 – Composição de custo para laje treliçada de 20cm	65
Tabela 10 – Composição de custos para o serviço de pilares pré-fabricados.....	66
Tabela 11 – Composição de custos para serviço de vigas pré-fabricadas	66
Tabela 12 – Volume de concreto para estrutura moldada no local	68
Tabela 13 – Quantidade de aço (kg) para estrutura moldada no local	68
Tabela 14 – Área de forma para estrutura moldada no local	69
Tabela 15 – Quantitativo das lajes treliçadas da estrutura de concreto moldado no local	69
Tabela 16 – Custo dos serviços de armação	70
Tabela 17 – Custos referentes aos serviços de forma.....	70
Tabela 18 – Volume dos pilares de concreto armado pré-fabricados.....	72
Tabela 19– Volume das vigas de concreto armado pré-fabricadas	72
Tabela 20 – Área da projeção horizontal das lajes do projeto de estruturas pré-fabricadas.....	73
Tabela 21 – Orçamento sintético da estrutura moldada no local.....	119
Tabela 22 – Composições (analítico) utilizadas na estrutura moldada no local.....	120
Tabela 23 – Orçamento sintético da estrutura moldada no local.....	124
Tabela 24 – Composições (analítico) utilizadas na estrutura pré-fabricada.....	124
Tabela 25 – Classificação dos itens da estrutura moldada no local (curva ABC).....	126
Tabela 26 – Classificação dos itens da estrutura pré-fabricada (curva ABC).....	127

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Peso próprio dos elementos de concreto.....	40
Equação 02 – Peso de paredes.....	40
Equação 03 – Peso de revestimentos.....	40
Equação 04 – Volume de pilares.....	57
Equação 05 – Volume de vigas.....	57
Equação 06 – Volume de lajes.....	58
Equação 07 – Cálculo da quantidade de aço em kg.....	59
Equação 08 – Área de forma de pilares.....	59
Equação 09 – Área de forma de vigas.....	60
Equação 10 – Área de forma de lajes.....	60
Equação 11 – Custo do concreto.....	62
Equação 12 – Custo da armação.....	63
Equação 13 – Custo das formas.....	63
Equação 14 – Custo final da estrutura de concreto armado moldado no local.....	64
Equação 15 – Custo do elementos pré-fabricados.....	66
Equação 16 – Custo final da estrutura pré-fabricada de concreto armado.....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. OBJETIVOS.....	19
1.1.1. Objetivos gerais	19
1.1.2. Objetivos específicos	19
2. METODOLOGIA	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL	21
3.1.1. Conceitos e definições	21
3.1.2. Princípios do projeto de estruturas moldadas in loco	23
3.2. ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO.....	25
3.2.1. Introdução e conceitos	25
3.2.2. Execução, transporte e montagem de estruturas pré-fabricadas	28
3.2.3. Princípios do projeto de estruturas pré-fabricadas	31
3.2.4. Ligações entre elementos pré-fabricados	33
3.2.5. Sistemas estruturais pré-fabricados para múltiplos pavimentos	34
4. DESENVOLVIMENTO	36
4.1. ESCOLHA DO SOFTWARE PARA PROJETOS ESTRUTURAIS	36
4.2. DETERMINAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	37
4.3. AÇÕES CONSIDERADAS SOBRE A ESTRUTURA.....	39
4.3.1. Cargas permanentes e variáveis	39
4.3.2. Cargas decorrentes da ação do vento	42
4.4. PROJETO ESTRUTURAL PARA CONCRETO MOLDADO NO LOCAL	44
4.4.1. Dados do projeto	44
4.4.2. Lançamento da estrutura	44
4.4.3. Pré-dimensionamento dos elementos.....	45

4.4.4. Etapas do projeto realizadas no software	48
4.5. PROJETO ESTRUTURAL PARA CONCRETO PRÉ-FABRICADO	51
4.5.1. Dados do projeto	51
4.5.2. Determinação das seções.....	52
4.5.3. Lançamento da estrutura e determinação das regiões construtivas	52
4.5.4. Processamento e verificações	54
4.6. LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS DE PROJETO	57
4.6.1. Volume de concreto.....	57
4.6.2. Quantidade de aço.....	58
4.6.3. Área de forma.....	59
4.7. DESENVOLVIMENTO DOS ORÇAMENTOS DOS PROJETOS.....	60
4.7.1. Orçamento para o projeto de concreto armado moldado no local.....	61
4.7.2. Orçamento para o projeto de concreto armado pré-fabricado	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
5.1. ORÇAMENTO DA ESTRUTURA MOLDADA IN LOCO.....	68
5.1.1. Quantitativos do projeto.....	68
5.1.2. Custo do concreto.....	69
5.1.3. Custo da armação.....	69
5.1.4. Custo das formas	70
5.1.5. Custo das lajes treliçadas	71
5.1.6. Custo total e orçamento final	71
5.2. ORÇAMENTO DA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA.....	71
5.2.1. Quantitativos do projeto.....	71
5.2.2. Custo dos pilares	73
5.2.3. Custo das vigas	73
5.2.4. Custo das lajes treliçadas	74
5.2.5. Custo total e orçamento final	74

5.3. DISCUSSÃO.....	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO A – TOLERÂNCIAS PARA ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS.....	84
ANEXO B – PROJETO ARQUITETÔNICO UTILIZADO NO ESTUDO	85
ANEXO C – PESO ESPECÍFICO DOS MATERIAIS.....	88
ANEXO D – CARGAS USUAIS SOBRE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS.....	89
ANEXO E – PROJETO ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL.....	92
ANEXO F – PROJETO ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO ARMADO PRÉ- FABRICADO.....	109
ANEXO G – ORÇAMENTO DO PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS NO LOCAL	119
ANEXO H – ORÇAMENTO DO PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO	124
ANEXO I – TABELAS DAS CURVAS ABC	126

1. INTRODUÇÃO

A engenharia estrutural é um ramo da engenharia civil que se mostra presente de forma relevante durante toda a história humana. Conforme Martha (2010), estruturas podem ser planejadas como o próprio empreendimento, sendo o caso de pontes, ou ainda projetadas como sistemas estruturais que virão a receber outros empreendimentos, sendo esse o caso geral de edifícios. Dito isso, destaca-se a relevância das estruturas de concreto armado na atualidade. No Brasil, apesar dos recentes avanços tecnológicos que proporcionaram novos e eficientes métodos construtivos, o concreto armado moldado no local segue consideravelmente predominante sobre outros sistemas, como estruturas metálicas, de madeira e pré-fabricadas de concreto armado. Essa predominância, no entanto, é um fator relevante para o atraso existente na indústria construtiva brasileira, que ainda faz uso de métodos que resultam em produções irregulares e, sobretudo, em grandes desperdícios de materiais, gerando prejuízos que vão além da esfera econômica e causando danos, por exemplo, no espectro ambiental, através da geração de resíduos, e também no social, devido às más condições de trabalhos oferecidas em canteiro que com certo grau de frequência resultam em acidentes.

O emprego de estruturas pré-fabricadas é um dos caminhos para o avanço tecnológico no meio da construção civil (El Debs, 2017). A redução desse atraso também irá resultar na mitigação das consequências anteriormente citadas em quais ele implica. Diante disso, torna-se importante a avaliação da viabilidade de implantação desse tipo de estrutura industrializada não apenas para edifícios de grande porte, mas também para construções usuais, como edificações residenciais.

A utilização de sistemas pré-fabricados para edificações residenciais esbarra, no entanto, principalmente nas particularidades decorridas dos mais variados tipos de arquitetura. Para isso, Van Acker (2002) afirma que a utilização de um sistema estrutural em pórtico, conhecido como sistema em esqueleto, são próprios para construções que requerem um grau de flexibilização considerável. Assim, será realizado um estudo comparativo para um mesmo projeto de arquitetura, analisando um projeto estrutural composto por estruturas de concreto moldado no local e outro por estruturas pré-fabricadas de concreto armado. Tal estudo busca avaliar a viabilidade de estruturas pré-fabricadas de concreto armado quando comparadas ao método construtivo mais utilizado no Brasil, sendo ambos aplicados em um projeto de porte usual, mas que apresenta diversas particularidades.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade da execução de estruturas pré-fabricadas de concreto armado quando comparadas às estruturas de concreto moldado in loco, estabelecendo essa comparação do ponto de vista econômico para a construção de um edifício residencial de dois pavimentos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Definir o projeto de arquitetura que servirá como base do estudo;
- Executar o lançamento da estrutura de concreto armado moldado no local, analisando seus esforços e dimensionando-a com auxílio de programa computacional;
- Executar o lançamento da estrutura pré-fabricada de concreto armado, analisando seus esforços e dimensionando-a com auxílio de programa computacional;
- Realizar o levantamento dos quantitativos de ambos os projetos e desenvolver seus respectivos orçamentos;
- Comparar os resultados dos orçamentos desenvolvidos perante a perspectiva econômica;
- Avaliar a viabilidade das estruturas de concreto armado pré-fabricado para uma edificação residencial.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, será realizada uma revisão bibliográfica, de modo a compor um referencial teórico, para proporcionar uma visão geral das características das estruturas de concreto, tanto as moldadas *in loco* como as pré-fabricadas. Além disso, o referencial teórico servirá como um balizador para o desenvolvimento dos projetos. Tais projetos serão desenvolvidos com amparo de software próprio para essa finalidade e, como citado, serão utilizados os conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica. Quanto aos orçamentos, serão utilizados dados calculados pelo autor e também informações extraídas do programa computacional, fazendo uso de composições de custos referenciadas para relacionar os quantitativos de projeto com seus prováveis custos de serviço.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADO NO LOCAL

3.1.1. Conceitos e definições

De acordo com Neville (2013), o concreto (figura 01) pode ser definido, de uma forma geral, como qualquer produto resultante da utilização de um material cimentante. De forma prática, o Cimento Portland é frequentemente utilizado como material cimentante e, juntamente com os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água e os aditivos, compõe a mistura que dá origem ao tipo de concreto mais difundido ao redor do mundo.

Figura 01 – Lançamento de concreto em bloco de coroamento



Os elementos componentes da mistura supracitados podem ser associados de diferentes maneiras. A junção do cimento com a água resulta em uma pasta, que quando misturada com agregado miúdo dá origem ao material conhecido como argamassa. A argamassa, ao receber a adição de agregado graúdo, resulta no concreto simples (Carvalho, 2014).

O concreto armado, por sua vez, decorre das propriedades do concreto simples, que apresenta uma resistência aos esforços de compressão consideravelmente maior que a resistência aos esforços de tração. sendo sozinho ineficiente para utilização na engenharia

estrutural, visto que em grande parte dos elementos haverá solicitações de tração. Assim, é comum a utilização do concreto simples e do aço de forma conjunta, visto que o segundo possui uma boa resistência à tração e os dois materiais possuem uma boa aderência entre si, sendo o aço posicionado longitudinalmente nas áreas tracionadas e trabalhando de forma cooperativa com o concreto (Carvalho, 2014). A NBR 6118:2014 apresenta definições relevantes para a melhor compreensão do tema abordado, entre quais algumas se encontram no quadro 01:

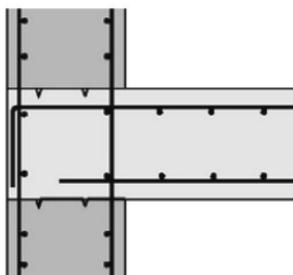
Quadro 01 – Termos e definições apresentados pela NBR 6118:2014

Termo	Definição
Concreto estrutural	Refere-se a todas as aplicações do concreto como material estrutural.
Elementos de concreto armado	Elementos cujo comportamento estrutural ocorre em função da aderência entre concreto e armação.
Armadura passiva	Armaduras que não são previamente alongadas para produzir protensão.
Junta de dilatação	Interrupções do concreto com intuito de possibilitar a movimentação da estrutura.
Estado limite último	Estado-limite que diz respeito ao colapso e ruína de uma estrutura.

Fonte: ABNT, 2014 (Adaptado).

Algumas outras definições são importantes, como a de elementos estruturais, que são peças formadas de forma geral por duas dimensões maiores que uma terceira e fazem parte de uma estrutura. É comum que esses elementos sejam associados a pilares, vigas e lajes, além de outras estruturas como fundações. A maneira como tais elementos são dispostos dá origem aos sistemas estruturais. É uma característica dos sistemas estruturais para concreto moldado no local que seus elementos estejam conectados entre si por engastes (figura 02), formando uma estrutura monolítica que se comporta como apenas um elemento (Carvalho, 2014)

Figura 02 – Esquema de uma estrutura engastada



Fonte: Nadal, 2015.

Ainda de acordo com Carvalho (2014), estruturas de concreto armado funcionam de modo que as lajes suportam, além do seu peso próprio, cargas permanentes, como contrapiso, e cargas acidentais, como a circulação de pessoas; as vigas, de modo geral, recebem as cargas oriundas das lajes, acrescidas do peso das paredes, quando houver; quanto aos pilares, esses recebem todas as cargas anteriormente citadas e descarregam sobre as fundações, essas passando adiante o carregamento para o solo.

3.1.2. Princípios do projeto de estruturas moldadas in loco

Conforme Teatini (2016), os esquemas mais comuns considerados para o cálculo de estruturas de concreto armado são os de estruturas reticuladas, que estão relacionados à associação de vigas, arcos, pórticos, treliças e grelhas; as estruturas de superfície, compostas pelas placas, chapas e cascas; e as estruturas de três dimensões, referentes aos blocos. Além disso, Teatini (2016) também lista alguns princípios pelos quais os projetos estruturais de concreto armado devem ser baseados, destacando-se para esse trabalho:

- a seção de vigas e pilares é, na maioria dos casos, determinada em função dos projetos arquitetônicos;
- evitar solicitar um elemento ou um conjunto de elementos de forma excessiva, de modo que recaia sobre esses uma grande influência sobre a estabilidade global da estrutura;
- procurar estabelecer os menores caminhos possíveis para as transferências de cargas;
- não fazer uso de peças extremamente finas;
- deve-se realizar um planejamento durante o lançamento da estrutura com intuito de facilitar sua execução e manutenção;
- em edifícios de múltiplos andares, o lançamento estrutural deve ser realizado primeiro preferencialmente no pavimento tipo;
- iniciar o lançamento estrutural com as vigas do piso, levando em consideração as paredes e as potenciais posições dos pilares;
- a manutenção da posição dos pilares em todos os pavimentos é uma situação ideal do ponto de vista econômico;
- nos vãos maiores é importante que haja a presença de vigas sob as paredes, podendo dispensa-las em determinados vãos de 2m a 3m;

- as vigas devem possuir alturas consideravelmente maiores que suas larguras, de modo a impedir rotações e flechas excessivas;
- deve-se, sempre que possível, procurar padronizar os elementos e vãos com intuito de obter cálculos mais simples, economia e velocidade na execução;
- quando possível, os eixos dos pilares devem coincidir com os cruzamentos das vigas, evitando-se assim cargas excêntricas;

Quanto às formas de dimensionamento e cálculo de estrutura, Carvalho (2014) apresenta duas classes de métodos, os clássicos e o de cálculo na ruptura, estando a descrição realizada de cada um deles expostas no quadro 02 a seguir:

Quadro 02 – Métodos de dimensionamento do concreto armado

Métodos	Descrição
Clássicos	<ul style="list-style-type: none"> • através da determinação das solicitações equivalentes as cargas máximas de serviço, as tensões máximas são calculadas sob a suposição de comportamento elástico da estrutura, limitando-as as tensões admissíveis e garantindo a segurança da estrutura; • utilização de valores fixos leva à utilização de solicitações que dificilmente ocorrerão durante a vida útil do elemento, resultando em superdimensionamento; • não considera a capacidade plástica dos materiais, o que decorre em mau aproveitamento desses.
Cálculo na ruptura (estados limites)	<ul style="list-style-type: none"> • a segurança é garantida tornando as solicitações majoradas menores que as solicitações que conduziriam a estrutura à ruína no caso de a resistência real dos materiais fosse minorada; • o método leva em consideração a possibilidade de os valores de resistências característicos dos materiais serem menores que os conhecidos e que os valores das ações possam ser maiores que os característicos; • os valores característicos são convertidos em valores de cálculos através da majoração das ações e da minoração das resistências.

Fonte: Carvalho, 2014 (Adaptado).

3.2. ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO

3.2.1. Introdução e conceitos

O concreto pré-moldado está presente no avanço da tecnologia do concreto armado desde os primeiros momentos de utilização desse tipo de elemento estrutural. O barco de Lambot (1848) e os vasos de Mounier (1849) foram as primeiras peças de concreto armado e possuíam características de elementos pré-moldados. O cassino de Biarritz (1891), por sua vez, pode ser descrito como a primeira construção onde estruturas pré-moldadas foram utilizadas. Com o passar do tempo, o método da pré-moldagem passou a ganhar mais força e foi bastante difundido na Europa após a Segunda Guerra Mundial, em virtude do grande número de construções sendo realizado na época. Isso refletiu no Brasil, onde a partir da final da década de 1950 houve um crescimento no emprego da técnica (El Debs, 2017).

Dito isso, em um primeiro momento, é necessário salientar a diferença entre elementos de concreto armado pré-moldados e elementos de concreto armado pré-fabricados. Segundo a NBR 9062:2017, que aborda o projeto e a execução de estruturas de concreto pré-moldado, um elemento pré-moldado é moldado com antecedência e em um lugar que não seja o de sua utilização final, enquanto um elemento pré-fabricado, por sua vez, é um elemento moldado previamente, mas de forma industrial em instalações de empresas com essa finalidade própria (ABNT, 2017). Dessa forma, é possível afirmar que todo elemento pré-fabricado é pré-moldado, mas nem todo elemento pré-moldado será pré-fabricado.

Pelo fato de ser produzido em fábricas e de forma industrial, os elementos de concreto pré-fabricados apresentam, de forma geral, uma maior qualidade quando comparado a elementos pré-moldados não industriais. Isso acontece, entre outras coisas, pelo maior controle de qualidade existente nos processos fabris. Perante esse fato, neste trabalho serão tratados de forma mais profunda os elementos pré-fabricados, no entanto alguns conceitos são comuns aos dois tipos de elementos e, portanto, as estruturas pré-moldadas também serão objeto de estudo.

Compreendida a diferença entre os conceitos de elementos de concreto pré-moldados e aqueles que são pré-fabricados, é importante o entendimento de sua relevância. Quando comparada a outros ramos da indústria, a construção civil se torna atrasada devido a fatores como produtividade baixa e uma quantidade considerável de materiais desperdiçados durante

os processos construtivos. A utilização da técnica de pré-moldagem de elementos de concreto é uma das maneiras para buscar nivelar a indústria da construção civil com aquelas que estão mais desenvolvidas em seus processos de produção (El Debs, 2017). Diante dessa necessidade de modernização, realocar as atividades realizadas no canteiro de obras para fábricas tornaria possível obter processos produtivos dotados de mais racionalidade e eficiência, sendo esse o caminho mais curto para a industrialização da construção civil (Van Acker, 2002).

Quanto aos tipos, El Debs (2017) afirma que os elementos pré-moldados podem ser classificados da seguinte forma (quadro 03):

Quadro 03 – Tipos de concreto pré-moldado

Classificação	Tipos de concreto pré-moldado	
Quanto ao local de produção	Pré-moldado de fábrica	Pré-moldado de canteiro
Quanto à incorporação de material para ampliar a seção resistente no local de utilização definitivo	Pré-moldado de seção completa	Pré-moldado de seção parcial
Quanto à categoria do peso dos elementos	Pré-moldado “pesado”	Pré-moldado “leve”
Quanto ao papel desempenhado pela aparência	Pré-moldado normal	Pré-moldado arquitetônico

Fonte: El Debs, 2017.

Ainda de acordo com El Debs (2017), as explicações sobre cada classificação encontram-se expostas abaixo:

- quanto ao local de produção, os elementos pré-moldados de fábrica são executados em instalações permanentes que não sejam a obra, não possuindo, necessariamente, a qualidade um elemento pré-fabricado, enquanto os elementos pré-moldados de canteiro são executados nas instalações temporárias próximas da obra;
- quanto à incorporação de material para ampliação de seção, os pré-moldados com seção completa têm toda a sua seção executada fora do local final de utilização, enquanto os de seção parcial tem parte da seção incorporada com concreto moldado *in loco* no local de utilização;
- quanto ao papel desempenhado pela aparência, os elementos podem ser classificados quanto a necessidade ou não de adequações visando demandas arquitetônicas;

- quanto ao peso dos elementos, o autor afirma que esta é uma classificação subjetiva, no entanto elementos leves podem ser considerados como os de peso até 0,3kN, médios com peso entre 0,3kN e 0,5kN, e pesados acima de 0,5kN.

Em relação às áreas da construção civil em quais o concreto pré-moldado pode ser empregado, encontram-se edifícios residenciais, comerciais, industriais, públicos como hospitais e terminais, obras de infraestrutura como pontes e túneis, reservatórios e outros (El Debs, 2017). Essa variedade de possibilidades de aplicação torna a utilização de pré-moldados ainda mais interessante.

Após o domínio dos conceitos expostos anteriormente, é preciso ter conhecimento de alguns termos frequentemente empregados no setor de elementos de concreto armado pré-moldados e pré-fabricados. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, através da NBR 9062/2017, apresenta definições para alguns desses termos (quadro 04):

Quadro 04 – Termos e definições

Termo	Definição
Folga	Diferença entre a distância livre para o posicionamento de um elemento e o comprimento de tal elemento. As folgas ocorrem em virtude das tolerâncias de fabricação, montagem e variação de volume, sendo necessárias que sejam consideradas em projetos.
Desvio	Diferença entre dimensão projetada do elemento e a dimensão executada.
Elemento linear	Elemento cujo uma das dimensões é consideravelmente maior que as outras duas.
Elemento em placa	Elemento cujo duas de suas dimensões são consideravelmente maiores que a outra.
Inserto	Peças incorporadas a um elemento com intuito de permitir ligações estruturais.
Ligações	Dispositivos com utilizados com objetivo de transmitir os esforços de um elemento para outro, possibilitando o arranjo de um sistema estrutural.
Tolerância	Valor máximo do desvio.
Variação volumétrica	Variações devidas à fluência, à variação térmica e à retração.

Fonte: ABNT, 2017.

3.2.2. Execução, transporte e montagem de estruturas pré-fabricadas

El Debs (2017) afirma que a produção das estruturas pré-fabricadas de concreto pode ser dividida em três etapas principais, sendo elas as atividades preliminares, a execução dos elementos e as atividades posteriores à execução. Em relação às atividades preliminares, essas englobam a preparação dos materiais que serão utilizados e o seu transporte até o local da moldagem. Quanto à execução, é composta pelos processos de preparação da forma, posicionamento e montagem da armadura, lançamento do concreto e adensamento quando necessário, tempo de cura e a desmontagem das formas. Por fim, as atividades posteriores podem ser descritas como o transporte interno até a área de armazenagem, a realização de acabamentos finais e a estocagem no local apropriado (figura 03).

Figura 03 – Estoque de elementos estruturais pré-fabricados



Fonte: Elliott, 2017.

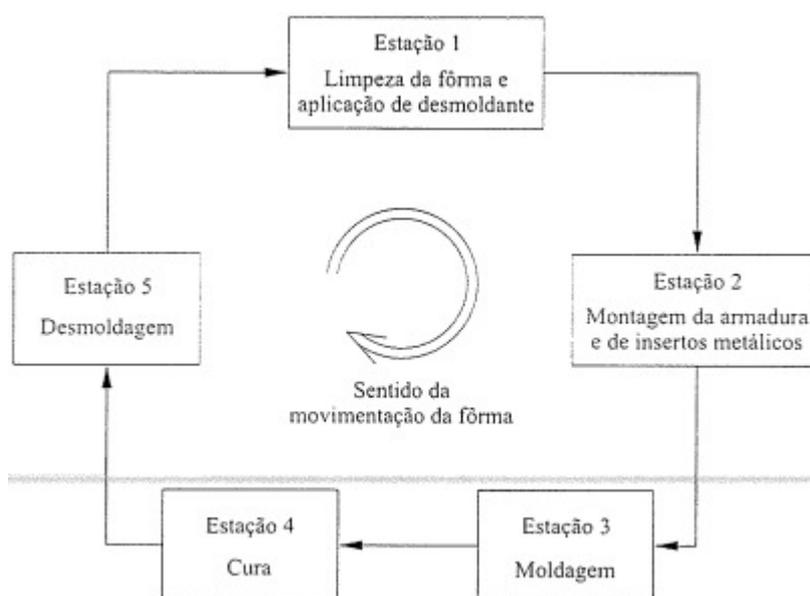
Durante a etapa de execução dos elementos pré-fabricados de concreto armado, o processo pode ser desenvolvido de três formas diferentes (El Debs, 2017):

- em função da forma, ou seja, as formas permanecem paradas e as atividades ocorrem ao seu redor, sendo esse processo conhecido como forma estacionária;

- com a forma móvel, ou seja, as formas são movimentadas para que atividades sejam realizadas por diferentes equipes, cada qual em uma estação;
- pista de concretagem, que se assemelha bastante a uma linha de produção e é normalmente utilizada para produção de elementos protendidos.

De uma forma geral, os métodos mais produtivos para produção de elementos pré-fabricados são o da forma móvel (figura 04) e o da pista de concretagem (El Debs, 2017).

Figura 04 – Ciclo de execução da forma móvel



Fonte: El Debs, 2000.

Processos como execução de armação e moldagem do concreto são realizados de maneiras razoavelmente semelhantes aquelas a quais são realizadas para o concreto moldado *in loco*. Em relação a armação, destaca-se a potencial vantagem de uma produção mais racional e também da utilização de máquinas, já que a grande demanda torna viável esse investimento. Quanto à moldagem do concreto, ressalta-se o fato de que em muitos casos já não é mais necessário a realização de adensamento após o lançamento, visto o aumento da utilização de concretos autoadensáveis que dispensam esse processo (El Debs, 2017).

Outro ponto a ser salientado, o tempo de cura é um processo que comumente é acelerado na execução de estruturas pré-fabricadas, visto que a liberação das formas é um fator importante para manutenção de uma boa produtividade. De acordo com El Debs (2017), as técnicas mais empregadas para a aceleração desse processo é o uso do Cimento Portland CP-V, conhecido

como cimento de alta resistência inicial - ARI, e o aumento da temperatura, sendo ainda possível, mas menos frequente, a utilização de aditivos para redução do tempo de endurecimento. Visto isso, El Debs (2017) ainda afirma que a cura do concreto pré-fabricado pode ser realizada das seguintes formas:

- a) manutenção das superfícies dos elementos úmidas, a cura por aspersão;
- b) inserção completa dos elementos em tanques de água, a cura por imersão;
- c) aumento da temperatura do concreto, a cura térmica;
- d) aplicação de películas impermeabilizantes para impedir a saída de água do elemento.

Quanto ao transporte do material da fábrica para o local de montagem, os efeitos resultantes dessa etapa sobre os elementos devem ser levados em contas durante os projetos dos elementos pré-moldados, sendo esses efeitos chamados de solicitações dinâmicas. Além disso, também devem constar nos projetos os pontos de apoio dos elementos durante o transporte, de modo que as condições de resistência sejam atendidas (ABNT, 2017). Segundo El Debs (2017), a predominância do transporte rodoviário no Brasil possibilita a ocorrência de ações dinâmicas de grande proporção e que tornam possível a danificação dos elementos durante os trajetos e, por isso, deve-se fixar esses elementos de forma zelosa, de modo a minimizar esses danos (figura 05). O autor ainda comenta sobre as limitações do processo, no qual em geral pode-se transportar elementos de comprimento menores ou iguais a 30 metros e que, em relação as distâncias máximas de transporte, deve-se buscar o custo adequado que é entre 5% e 15% do valor total.

Figura 05 – Transporte de elementos pré-fabricados de concreto armado



Fonte: Locke Solutions, 2021.

Para a fase de montagem dos elementos no local de aplicação, Van Acker (2002) afirma que as ligações que serão realizadas nas obras devem ser simples de modo que não

comprometam a rapidez do processo de montagem e aumente os custos. Além disso, deve-se mais uma vez dar atenção aos casos especiais de carregamento, assim como na etapa de transporte. São exemplos desse tipo de carregamento a ação do vento que antecede a montagem completa da estrutura e as cargas descentralizadas durante o processo de montagem.

3.2.3. Princípios do projeto de estruturas pré-fabricadas

Conforme Van Acker (2002), a maneira mais eficiente para se obter o melhor projeto possível para estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas é que não haja adaptação de um projeto para concreto moldado *in loco*, mas que a concepção seja realizada utilizando os métodos de pré-moldagem desde as primeiras etapas do projeto. Van Acker (2002) ainda lista alguns pontos importantes no tocante a obter as melhores soluções de projetos, pontos esses descritos abaixo:

- respeito à filosofia específica do projeto, fazendo uso de grandes vãos e mecanismos próprios de contraventamento, além de garantir a integridade da estrutura;
- usar soluções padronizadas, visto que a repetição de processos irá permitir, entre outros, custos menores e uma melhor qualidade dos elementos;
- prevenção do uso de detalhes muito complexos;
- consideração nos projetos da diferença entre as dimensões especificadas e as executadas, respeitando as tolerâncias;
- fazer uso das vantagens proporcionadas pelo processo industrializado do concreto pré-fabricado.

El Debs (2017) também estabelece princípios para serem tomados como base durante o desenvolvimento de uma estrutura de concreto pré-fabricado, sendo eles a concepção do projeto com intuito da utilização de estruturas de concreto pré-moldadas, a resolução das interações entre a estrutura e outros elementos construtivos, a redução para o mínimo de ligações, padronização dos elementos e fazer uso de elementos com pesos semelhantes.

Uma recomendação geral para os projetos de estruturas pré-fabricadas é a modulação. De acordo com El Debs (2017), a utilização de uma dimensão básica que relacione as dimensões dos elementos e as dimensões totais da construção torna mais simples a compatibilização da disposição dos elementos. Além da padronização, a coordenação modular proporciona a

redução da adaptação de componentes e a escolha de elementos mais apropriados entre aqueles já existentes. Van Acker (2002) comenta que, sobretudo para estruturas pré-fabricadas, a modulação dos elementos é um fator econômico de grande importância, seja em relação ao desempenho da estrutura ou em relação ao acabamento.

Quanto à utilização de balanços, muito comum em projetos estruturais de edifícios com estrutura de concreto moldado no local, El Debs (2017) afirma que não é de total recomendação para estruturas de concreto pré-fabricadas, sobretudo em pavimentos intermediários, pois, caso utilizados, há o surgimento de dificuldades de execução.

Quanto ao desenvolvimento do projeto propriamente dito, El Debs (2017) faz menção a três alternativas mais comuns para quando utilizados elementos pré-fabricados de concreto armado, que podem ser adaptadas para casos específicos. São elas:

- elementos de eixo reto com ligações articuladas, composto por quatro elementos e ligações articuladas nos pilares, proporcionando facilidades de operação, mas gerando uma distribuição não favorável dos momentos fletores;
- elementos de eixo reto com ligações rígidas, composto por quatro elementos e ligações rígidas nos pilares, proporcionando facilidade de operação e boa distribuição dos momentos fletores, mas gerando mais dificuldades na execução das ligações dos pilares;
- elementos compostos de trechos de eixo reto com articulações próximas ao ponto de momento nulo, possuindo ligações menos complexas e boa distribuição dos momentos fletores, mas com menos facilidade na operação.

Acerca das tolerâncias, essas devem ser levadas em contas em diferentes fases, sendo elas nas fábricas e nos canteiros. Nas fábricas, situações como variações de dimensão dos elementos, falta de linearidade das superfícies e não ortogonalidade das seções são fatores importantes que devem ser analisados, enquanto no canteiro estes fatores estão relacionados aos desvios na locação e os gerados pela montagem (Van Acker, 2002). A ABNT, através da NBR 9062 de 2017, estabelece uma série de tolerâncias que podem ser encontradas no anexo A deste trabalho. Quanto as folgas, El Debs (2017) reitera que essas consideram, além da junção das tolerâncias, os espaços necessários para realização da montagem e as possíveis variações de volume sofridas pelos elementos.

No tocante à análise estrutural de um edifício de estruturas de concreto armado pré-fabricadas, alguns aspectos principais devem ser verificados, sendo eles: os ajustes nos coeficientes de segurança; as situações transitórias; a possibilidade de alteração do esquema estático; os arranjos construtivos; incerteza na transmissão de esforços através das ligações; a análise da estrutura pronta. A estabilidade global da estrutura também deve ser analisada e para isso é possível utilizar os mesmos métodos para o concreto moldado no local (El Debs, 2017).

3.2.4. Ligações entre elementos pré-fabricados

Segundo El Debs (2017), as ligações entre elementos pré-fabricados representam um dos problemas mais relevantes a serem solucionados durante o emprego da pré-moldagem, sendo a etapa mais importante do projeto, visto que possuem grande influência tanto na produção da estrutura quanto no seu comportamento após pronta. De acordo com Van Acker (2002), a função fundamental das ligações é garantir a interação entre os elementos estruturais através da transmissão de esforços entre eles, com os seguintes objetivos:

- garantir a conexão entre os apoios da estrutura e os seus elementos;
- assegurar o que se foi planejado acerca do comportamento global dos subsistemas;
- realizar a transferência de forças em determinado ponto de aplicação para um subsistema de estabilização;

Quadro 05 – Classificação das ligações quanto ao tipo de esforço transmitido

Classificação quanto ao esforço transmitido	Técnicas utilizadas
Ligações para transferência de esforços de compressão	<ul style="list-style-type: none"> • Contato direto; • Juntas com argamassas; • Almofadas de apoio.
Ligações para transferência de esforços de tração	<ul style="list-style-type: none"> • Conectores metálicos (ação de pino, chumbadores, conectores soldados, etc).
Ligações para transferência de esforços de cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> • Atrito na interface das juntas; • Intertravamento das chaves de cisalhamento; • Ação de pino em barras; • Dispositivos mecânicos.
Ligação para transferência de esforços de flexão e torção	<ul style="list-style-type: none"> • Ligação entre as armaduras através de sobreposição, chumbamento ou soldagem.

Fonte: Van Acker, 2002. (Adaptado)

De modo análogo, é possível classificar as ligações de algumas outras formas. Conforme explana El Debs (2017), tais classificações estão expostas abaixo:

- classificação quanto ao tipo de vinculação com o momento fletor, podendo ser articulada, rígida ou semirrígida;
- classificação quanto ao emprego ou não de argamassa ou concreto, sendo ligações secas ou úmidas;
- classificação quanto à utilização de material de amortecimento, sendo dura ou macia.

Ainda de acordo com El Debs (2017), as ligações em elementos de barra também podem ser analisadas no que tange aos tipos de elementos interligados. Essas classificações estão relacionadas ao modo com que estão dispostos os elementos como pilares, fundações e vigas, como exposto no quadro 06:

Quadro 06 – Classificação das ligações em elementos de barra

Grupo 1	pilar x fundação (P x F)	
	pilar x pilar (P x P)	
Grupo 2	viga x pilar em ponto intermediário do pilar ($V \times P$) _{inter}	
	viga x pilar no topo do pilar ($V \times P$) _{topo}	
	viga x viga em ponto intermediário do pilar ($V \times V$) _{inter}	
	viga x viga sobre o topo do pilar ($V \times V$) _{topo}	
Grupo 3	viga x viga fora do pilar ($V \times V$) _{fora}	
	viga principal x viga secundária ($V_{pr} \times V_{sec}$)	

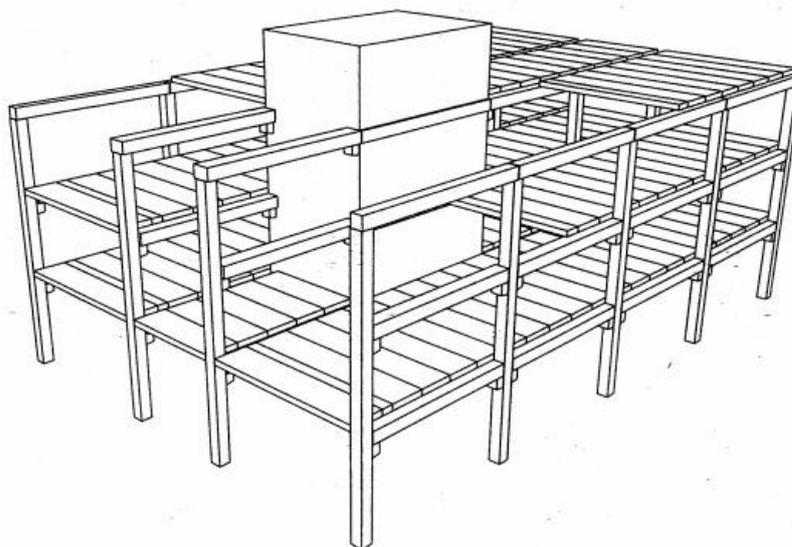
Fonte: El Debs, 2000.

3.2.5. Sistemas estruturais pré-fabricados para múltiplos pavimentos

As estruturas de concreto armado pré-fabricada podem ser utilizadas para edificações compostas por múltiplos pavimentos e o sistema estrutural mais empregado para esse caso é conhecido como Estruturas de Esqueleto (figura 06). De forma geral, esse sistema é composto por pilares retangulares com comprimento equivalente a altura de um ou mais pavimentos, além de vigas simplesmente apoiadas de seção retangular, com ligações realizadas através de chumbadores sobre consolos ou no topo dos pilares. Em construções razoavelmente baixas, o

balanço dos pilares muitas vezes é suficiente para assegurar a estabilidade horizontal da estrutura, no entanto, é mais efetivo fazer uso de sistemas de contraventamento, como núcleos centrais ou paredes de contraventamento (Van Acker, 2002).

Figura 06 – Sistema estrutural de esqueleto com núcleo central



Fonte: Van Acker, 2002.

De acordo com El Debs (2017), edifícios que fazem uso do sistema estrutural de esqueleto possuem como característica os pilares engastados nas fundações e as vigas articuladas, o que torna fácil a produção e também a operação das ligações. Além disso, outro ponto marcante é a formação de “T” entre as vigas e os pilares, quando o segundo possui comprimento igual a altura do pavimento. Para edifícios maiores, com mais de 12 metros, se faz necessário que as vigas sejam rigidamente ligadas aos pilares, o que torna a estrutura mais custosa no que se trata das ligações que serão realizadas.

Em relação as dimensões, os comprimentos e vãos recomendados para os elementos se encontram no quadro 07 a seguir:

Quadro 07 – Recomendações de comprimentos e vãos dos elementos

	Mínimo	Ótimo	Máximo
Comprimento das vigas (m)	5	1 – 9,60	14
Vão das lajes de pisos (m)	6	7 - 14	18 - 20
Altura do pilar (m)	3 - 4	6 - 12	20 - 25

Fonte: Van Acker, 2002.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. ESCOLHA DO SOFTWARE PARA PROJETOS ESTRUTURAIS

Para a escolha do software a ser utilizado para o desenvolvimento dos projetos estruturais para concreto armado moldado no local e para concreto armado pré-fabricado foi tomado em consideração, inicialmente, a necessidade de um programa que realizasse os cálculos estruturais para ambos os métodos. Diante disso, houve uma grande dificuldade em encontrar um software que atendesse as necessidades e ao mesmo tempo fosse acessível, visto que a maioria dos programas de cálculo estrutural possuem altas taxas de assinaturas, sobretudo quando acrescido de módulos para estruturas de concreto armado pré-fabricadas.

Diante do que foi exposto acima, o software escolhido foi o TQS, na versão 23, fazendo uso de sua avaliação gratuita. Tal avaliação realiza tanto cálculos estruturais para concreto armado moldado *in loco* como para concreto armado pré-moldado e pré-fabricado, estes últimos através do módulo denominado PREO. No entanto, como essa é uma versão de teste, ela apresenta severas limitações, como é possível observar no quadro 08 adiante:

Quadro 08 – Limitações da avaliação gratuita do TQS versão 23

Moldado in loco	Máximo de Pavimentos	3	Pré-moldados	Área em Planta do Pavimento (m ²)	≤ 120
	Área em Planta do Pavimento (m ²)	120		Área Total do Edifício (m ²)	≤ 250
	Área Total do Edifício (m ²)	250		Etapas Construtivas	≤ 4
	Modelo VI Disponível	X		Viga Pré-Moldada Protendida	X
	Modelo IV Disponível	✓		Laje Pré-Moldada Protendida	X
	Limite de FCK (Kgf/cm ²)	300		Pórtico Não Linear Físico e Geométrico	X
	Limite de FCK para Pilares (Kgf/cm ²)	300		Calculadoras isoladas específicas para pré-moldados	X

Fonte: TQS, 2022 (Adaptado).

Como é visto no quadro acima, a limitação das áreas de planta é de 120 metros quadrados por pavimento e 250 metros quadrados totais. Este fator influenciou diretamente na determinação do projeto arquitetônico a ser utilizado, visto que é uma área relativamente pequena em relação aos edifícios usuais construídos atualmente. Além disso, outro fator é a limitação da resistência característica à compressão (fck) do concreto moldado *in loco* a 300 kgf/cm², o que reduz a gama de soluções em caso de solicitações maiores que o habitual.

Em relação aos critérios de cálculos, os procedimentos são todos realizados de acordo com as normas vigentes, no caso do Brasil, para concreto armado de foram geral a ABNT NBR 6118 e para concreto armado pré-moldado ou pré-fabricado a ABNT NBR 9062. As configurações do programa, no entanto, permitem que o usuário faça alterações nesses critérios.

Na interface do aplicativo, nas configurações gerais do edifício, é possível escolher o modelo estrutural pelo qual será realizado o cálculo. No caso da avaliação gratuita do TQS versão 23, apenas é possível a utilização do modelo IV, que é o modelo de vigas e pilares, flexibilizados conforme critérios. Este modelo pode ser explicado da seguinte forma:

O edifício será modelado por um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados como pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais serão calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelha de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas serão transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimento, as cargas das lajes serão transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga. (...) A flexibilização das ligações viga-pilar, a separação de modelos específicos para avaliações do estado limite último e estado limite de serviço, bem como seus respectivos coeficientes de não-linearidade física, são controlados por critérios gerais do pórtico-TQS. (TQS, 2022)

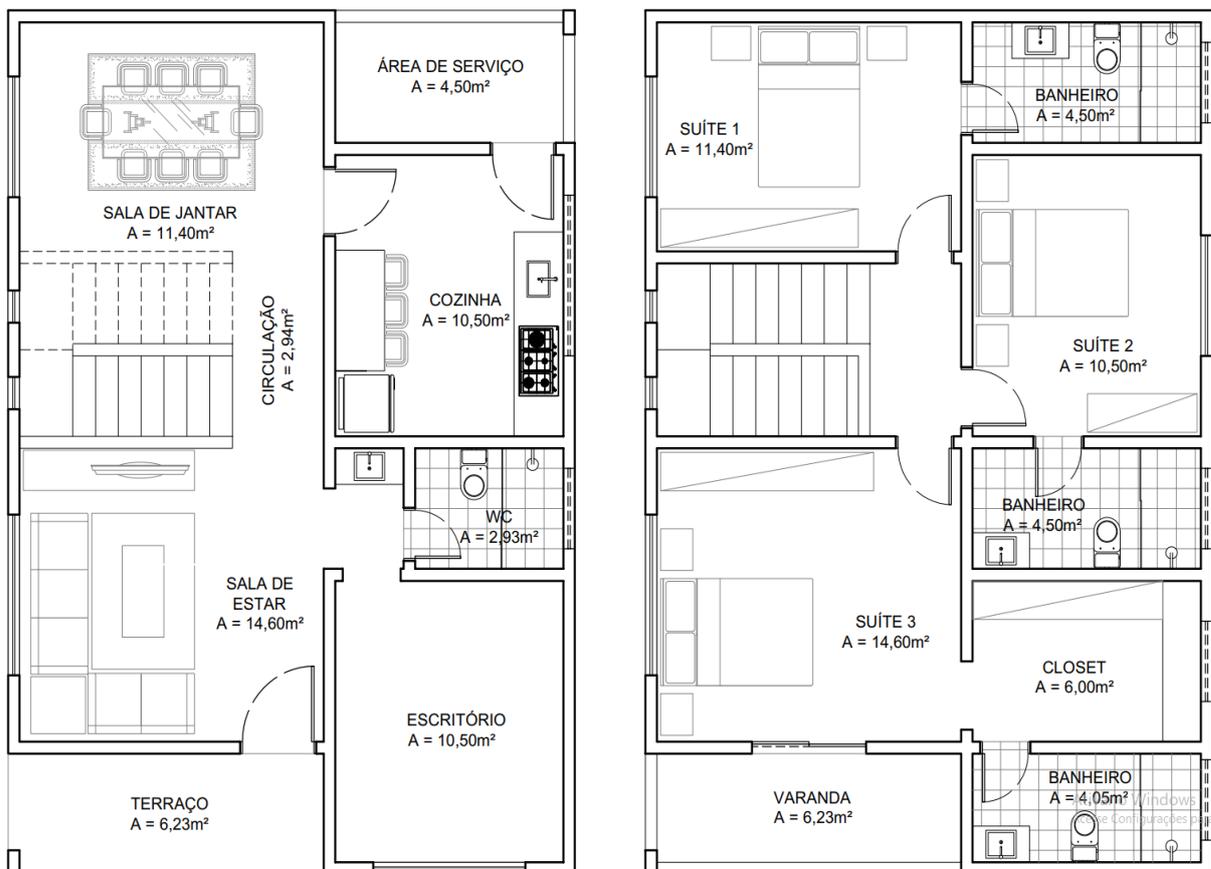
O programa, além de realizar o cálculo estrutural, também gera os desenhos técnicos para os projetos, além de quantificar os materiais, como volume de concreto, a área de forma e o peso de aço.

4.2. DETERMINAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

A etapa de determinação da arquitetura levou em consideração, primeiramente, o intuito inicial do trabalho, que diz respeito à avaliação da viabilidade da utilização de estruturas de concreto armado pré-fabricadas em edificações usuais comerciais ou residenciais. Todavia, como supracitado no tópico anterior, outro fator preponderante na escolha da arquitetura foram

as limitações oferecidas pelo software utilizado para o auxílio no desenvolvimento do projeto. Em primeiro momento, a intenção era realizar o estudo trabalhando sobre um edifício comercial de 4 pavimentos, e com área em planta de aproximadamente 150m² por pavimento. Visto que estas características excediam os limites da versão de teste do software, cogitou-se a possibilidade de realizar o estudo sobre um projeto de um abatedouro composto por um galpão pré-moldado, desenvolvendo o projeto para concreto moldado no local e realizando a comparação, mas a conclusão foi de que haveria uma fuga da proposta do trabalho quanto à finalidade da edificação. Em face das condições encontradas, decidiu-se por realizar o estudo utilizando um edifício residencial composto por térreo mais um pavimento, compreendendo uma área construída total menor que os 250m², de modo que os limites de utilização do TQS não fossem excedidos. As plantas (figura 07) do pavimento térreo e do pavimento superior da edificação podem ser visualizadas a seguir:

Figura 07 – Plantas baixas do pavimento térreo e do pavimento superior



A edificação escolhida possui uma largura de 7,45m e um comprimento de 10,75m. A área construída total é de 160,2m², sendo dessas 80,1m² em cada pavimento. Os vãos entre as paredes da edificação possuem ordem aproximada entre 3m e 4m, dimensões características de

residências desse porte. Quanto às elevações, a edificação possui uma altura de piso a piso de 3m, como é possível observar nos cortes disponibilizados no anexo B. Em relação aos cômodos, o edifício é composto por sala de estar, sala de jantar, um lavabo, um banheiro social, cozinha, área de serviço, um dormitório e 3 suítes. A cobertura da edificação conta com uma platibanda em alvenaria com 1m de altura e com telhas de fibrocimento de 5mm, com acesso apenas para manutenção e inspeção. Devido aos entraves oferecidos pela avaliação gratuita do software em relação à quantidade máxima de níveis e pavimentos, foi desconsiderada a existência de um reservatório no projeto, assim como não foram levados em consideração os elementos estruturais referentes a escada.

4.3. AÇÕES CONSIDERADAS SOBRE A ESTRUTURA

No desenvolvimento de projetos estruturais, a determinação das ações que incidirão sobre a estrutura são um dos pontos mais relevantes para que sejam obtidas as soluções mais adequadas e seguras para o projeto. É de responsabilidade do projetista designar quais os tipos de carga que devem ser levadas em consideração para cada situação específica em uma estrutura. No software utilizado para auxiliar o cálculo e detalhamento dos projetos executados para este trabalho, há uma diversidade de cargas e combinações a disposição do usuário para aplicação, todas conforme a norma vigente, a ABNT NBR 6120, de 2019, que trata das ações para o cálculo de estruturas de edificações. Dessa forma, com auxílio do software, cabe ao usuário e projetista apenas a escolha das cargas e suas combinações que mais se aproximem da realidade no momento em que a estrutura for executada, podendo ainda realizar personalizações para obter resultados mais precisos.

4.3.1. Cargas permanentes e variáveis

De acordo com a NBR 6120:2019, as cargas podem ser classificadas da seguinte maneira (ABNT, 2019):

- a) permanentes, que remetem ao peso próprio da estrutura e a todos os elementos construtivos que sejam fixos, como paredes, pisos, revestimentos, forros, telhados, etc;
- b) variáveis, que incidem sobre a estrutura em função do seu uso, como pessoas e veículos.

Para ambos os projetos desenvolvidos, para concreto armado moldado no local e concreto armado pré-fabricado, as cargas permanentes consideradas estão listadas abaixo:

- peso próprio dos elementos estruturais;
- paredes de alvenaria;
- revestimentos de pisos;
- cargas da cobertura.

Todos os elementos anteriores são considerados pelo software durante o cálculo, porém, para efeito de conhecimento, os métodos de cálculo dessas ações estão expostos abaixo. Para o peso próprio de um elemento estrutural, temos a equação 01:

$$P_p = b * h * \gamma_{conc} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

P_p é o peso próprio do elemento;

b é a base ou largura do elemento;

h é altura do elemento;

γ_{conc} é o peso específico do material, para concreto armado, aproximadamente 25 kN/m³.

Para as paredes de alvenaria, pode-se calcular as ações distribuídas linearmente através da equação 02 a seguir:

$$P_{alv} = h_{alv} * \gamma_{alv} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

P_{alv} é o peso da parede de alvenaria por unidade de área;

h_{alv} é altura da parede;

γ_{alv} é o peso específico do material, em unidade de massa por área.

Para revestimentos de piso, pode-se calcular as ações distribuídas (equação 03):

$$P_{rev,piso} = e_{rev,piso} * \gamma_{rev,piso} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$P_{rev,piso}$ é o peso por área do revestimento do piso;

$e_{rev,piso}$ é a espessura do revestimento do piso;

$\gamma_{rev,piso}$ é o peso específico do material utilizado para o revestimento.

Quanto as cargas da cobertura, essas estão associadas ao telhado aplicado. Se tratando de uma telha de fibrocimento com 5mm de espessura e estrutura de madeira, o peso considerado é de aproximadamente 0,4 kN/m² (ABNT, 2019).

Os pesos específicos dos materiais podem ser encontrados na NBR 6120:2019, em tabelas próprias para isso. Tais tabelas encontram-se disponíveis para visualização no Anexo C deste trabalho.

No que se trata das cargas acidentais, dado o fato que se trata de uma edificação residencial, foi considerado apenas as ações geradas pelas pessoas. As tabelas normativas disponibilizadas pela ABNT, através da NBR 6120:2019, que dispõem acerca das cargas acidentais de acordo com o ambiente podem ser encontradas no anexo D.

Dessa forma, o quadro 09 adiante faz relação dos elementos estruturais do edifício residencial com as cargas consideradas (além do peso próprio e da transferência de esforços entre a estrutura) para seu dimensionamento:

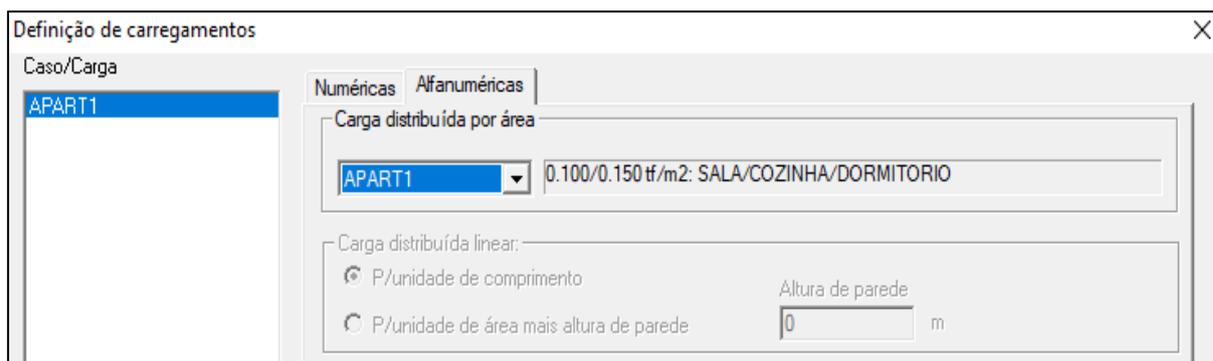
Quadro 09 – Elementos estruturais e respectivas cargas consideradas

Elemento	Cargas (de acordo com a NBR 6120:2019)
Vigas baldrame	• alvenaria do pavimento térreo;
Vigas primeiro pavimento	• alvenaria do primeiro pavimento;
Lajes primeiro pavimento	• Dormitórios e sanitários (1,5 kN/m ²)
Vigas da cobertura	• Alvenaria (platibanda com 1m)
Lajes da cobertura	• Cobertura com acesso apenas para manutenção ou inspeção (1 kN/m ²)

Quanto a inserção dessas cargas no software, ela pode ser realizada individualmente para cada elemento, o que permite trabalhar cada situação de forma específica. Na figura 08, é apresentada uma captura de tela do TQS versão 23, na qual encontra-se a página de definição

dos carregamentos da laje sob a suíte 1. Pode-se perceber que as cargas normalizadas são denominadas “alfanuméricas”, e que para o caso citado no quadro 09, sobre cargas decorrentes de ambientes como dormitórios, o software nomeia como “APART1”, conforme mostra a figura 08:

Figura 08 – Definição de carregamento no software TQS versão 23



O processo exposto acima foi realizado analogamente para todos os elementos estruturais do edifício a quais recebiam cargas além de seu peso próprio e as transferidas por outros elementos, em consonância com as especificidades expostas anteriormente.

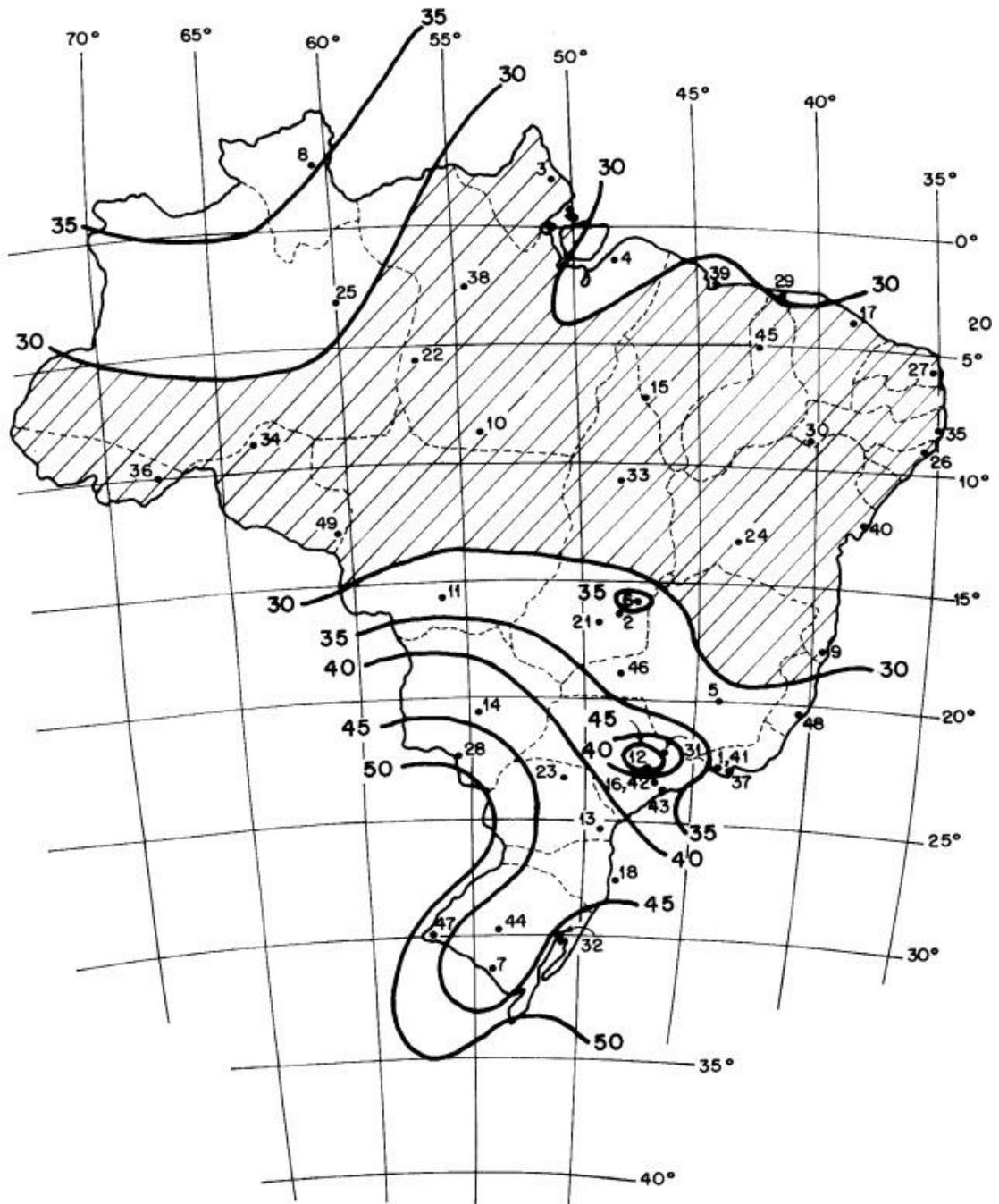
4.3.2. Cargas decorrentes da ação do vento

No tocante as ações decorrentes do vento, o programa também realiza os cálculos de forma computacional, cabendo ao usuário inserir parâmetros de entrada como a velocidade do vento na região do edifício, o fator do terreno em relação a sua topografia, a categoria de rugosidade, a classe da edificação e o fator estatístico. Os valores adotados e suas justificativas encontram-se descritos a seguir:

- para a velocidade do vento na região do edifício, utilizou-se como referência a isopleta de velocidade (figura 09) disponibilizada pela NBR 6123 e, considerando a região da construção como João Pessoa, na Paraíba, tal valor será de 30m/s;
- quanto ao fator topográfico do terreno, sendo esse plano, o valor será 1;
- a categoria de rugosidade se adequa a terrenos localizados em zonas urbanizadas, sendo dessa forma pertencente a categoria IV;
- a classe da edificação diz respeito à proporção das suas dimensões e, para o presente caso, será classe A, com maior dimensão menor que 20m;

- sobre o fator estatístico, está relacionado à finalidade da edificação e para edificações residenciais com alta taxa de ocupação esse valor será 1.

Figura 09 – Isopleta de velocidades do vento



Fonte: ABNT, 2013.

Determinado os parâmetros, o software realiza todos os procedimentos de cálculo necessários, determinando desde os coeficientes de arrasto de acordo com os ângulos de incidências até as cargas que irão atuar sobre a estrutura.

4.4. PROJETO ESTRUTURAL PARA CONCRETO MOLDADO NO LOCAL

4.4.1. Dados do projeto

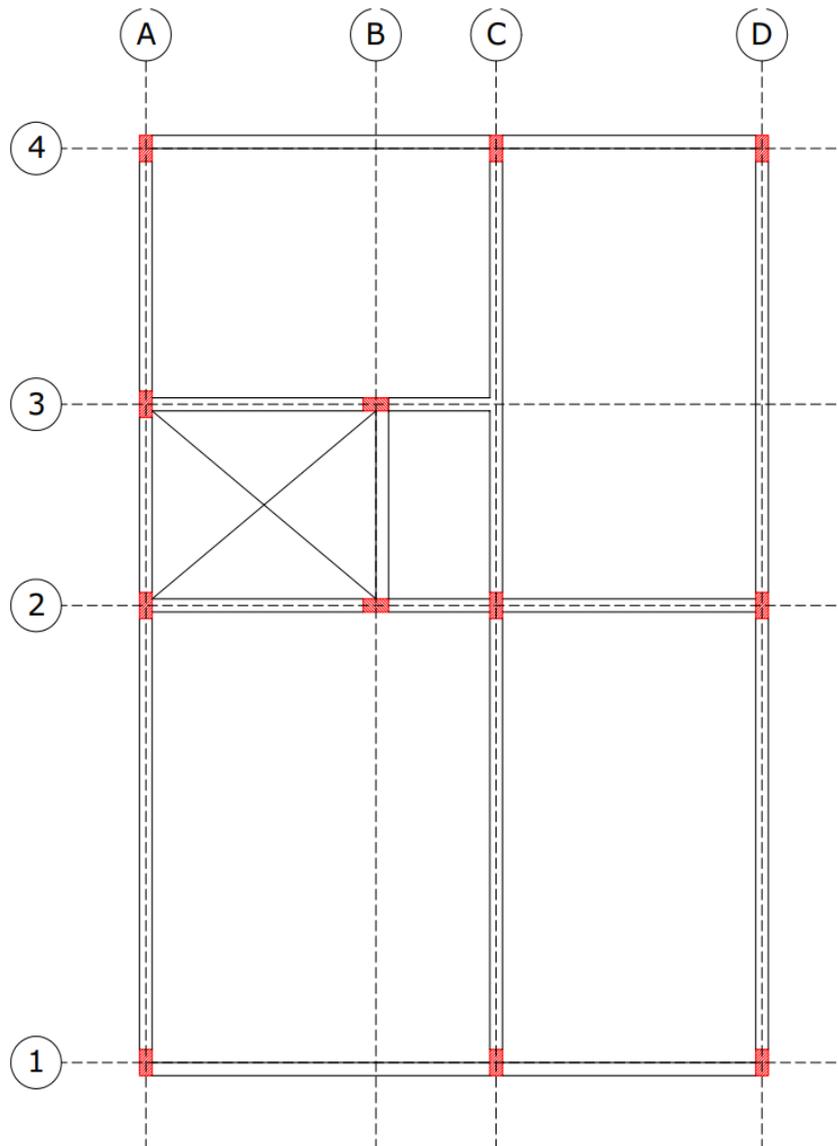
Para o projeto da estrutura de concreto armado moldado *in loco*, determinou-se que a resistência característica do concreto (f_{ck}) seria de 25MPa, de modo a haver uma semelhança com a estrutura pré-fabricada, cujo f_{ck} também será esse. As seções dos pilares e das vigas serão, em totalidade, retangulares e as lajes utilizadas serão do tipo treliçada. Como informado na seção 4.2, em virtude da exigência limitante do número de pavimentos do software utilizado, não serão consideradas as lajes e vigas da escada no projeto, assim como os elementos do reservatório.

4.4.2. Lançamento da estrutura

O lançamento da estrutura de concreto armado moldado no local foi realizado buscando seguir os critérios apresentados na seção 3.1.2 deste trabalho. Dessa forma, os vãos, em sua maioria, foram projetados para que os pilares estivessem distantes entre si com uma distância de pelo menos 3m, de modo que não houvessem vãos excessivamente pequenos e sem grandes variações, sendo exceção os pilares referentes ao vão do lado direito da caixa da escada, que apresentaram uma distância aos pilares do eixo central de edificação de 1,20m, como é possível enxergar na figura 10.

No que se trata da disposição das vigas, procurou-se as posicionar em locais em que houvessem paredes. Em casos específicos, para evitar ao máximo a utilização de vigas secundárias ou terciárias, determinados trechos de paredes não foram acompanhados por vigamento, sendo, portanto, apoiados na laje. Em relação às vigas baldrames, essas foram dispostas, sem exceção, sob as paredes do pavimento térreo, com intuito de travar os pilares na direção horizontal e receber as cargas de alvenaria.

Diante do exposto, a estrutura foi lançada, resultando em 13 pilares, além de 8 vigas e 5 lajes no pavimento superior e na cobertura, além de 12 vigas baldrames. Os maiores vãos, de eixo a eixo de pilar, possuem 5,15m de comprimento. Assim, a estrutura para o projeto de concreto armado moldado *in loco* conta com 4 eixos verticais e 4 eixos horizontais, como pode-se observar na figura 10 a seguir.

Figura 10 – Eixos estruturais

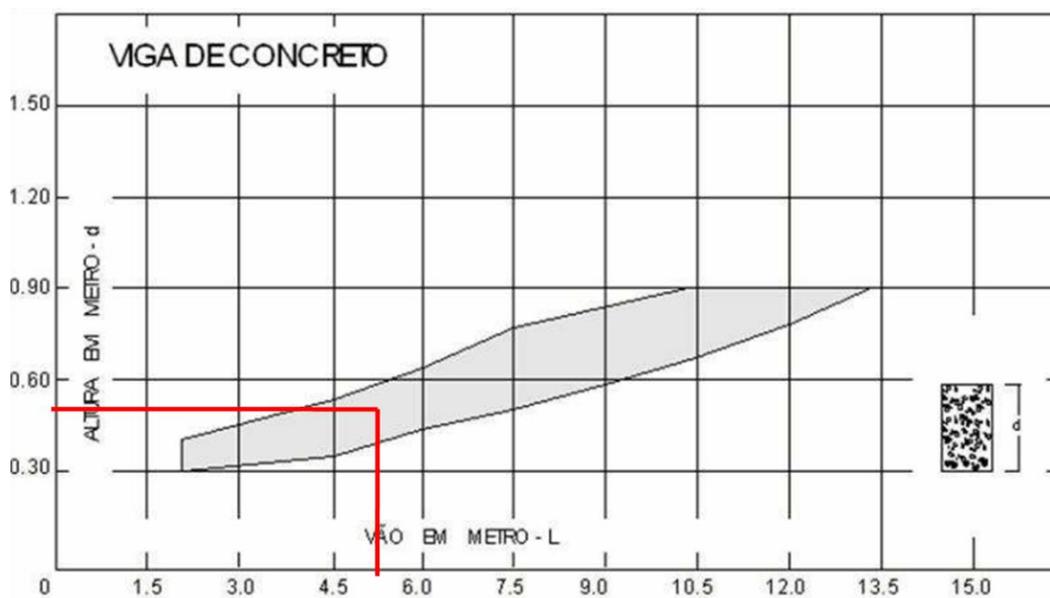
4.4.3. Pré-dimensionamento dos elementos

Após o lançamento da estrutura, foi realizado o pré-dimensionamento dos elementos que a compõem. Esta etapa foi realizada separadamente para os pilares, as vigas e as lajes.

Quanto ao pré-dimensionamento das vigas, foi utilizado um gráfico para auxiliar no processo. Tal gráfico relaciona a altura da viga e suas cargas previstas com o comprimento do vão considerado. Dessa forma, levou-se em conta o maior vão do projeto (5,15m) para determinar uma mesma altura para todas as vigas, adotando-se então a altura de 50cm, conforme pode-se observar no gráfico 01. Em relação a base da viga, buscou-se estabelecer uma relação aproximada de 1/3 com a sua altura, sendo utilizada então a dimensão de 15cm, de maneira que

as vigas pudessem ser embutidas nas paredes. Dessa forma, as vigas do presente projeto são caracterizadas por uma seção 15cm x 50cm.

Gráfico 01 – Pré-dimensionamento de vigas de concreto

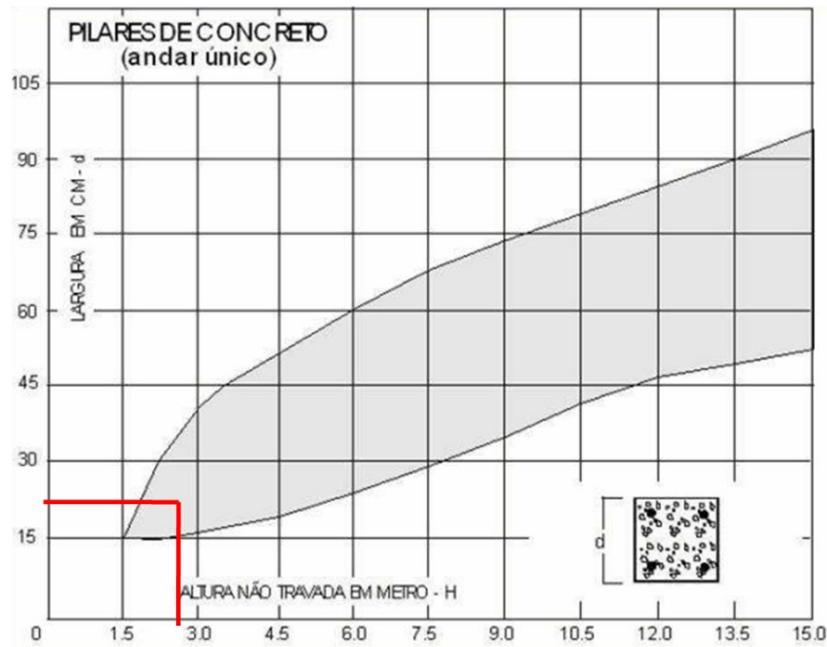


Fonte: Rebello, 2000.

No tocante do pré-dimensionamento das vigas baldrame, devido a menor quantidade de carga recebida por estas, houve uma redução da altura das vigas, padronizando uma seção 15cm x 35cm para todos elementos.

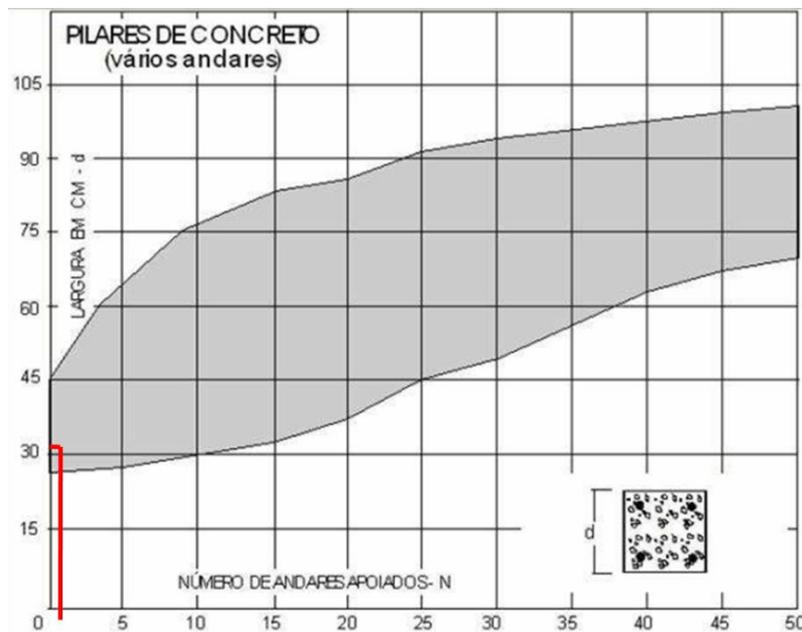
Para a execução do pré-dimensionamento dos pilares, foram utilizados gráficos disponibilizados por Rebello (2000). Foram analisados dois gráficos que condicionam a largura de uma seção quadrada de um pilar à altura em que não se encontra travado (gráfico 02) e ao número de andares apoiado (gráfico 03), além de suas cargas estimadas. Tais gráficos possuem uma faixa de resultados aceitáveis, levando-se em conta que em regiões inferiores são consideradas cargas mínimas para edifícios e nas regiões superiores cargas máximas, enquanto nas regiões intermediárias são cargas médias. Dessa forma, sabendo que os pilares do edifício estudado contam com 2,50m de altura sem travamento por lance e que há um andar apoiado, a análise dos gráficos foi realizada, indicando uma seção de 20cm x 20cm pelo gráfico 01 e de 30x30cm no gráfico 02. Fazendo do uso da maior seção, essa possui uma área de 900cm². No entanto, é comum que as seções de pilares pré-dimensionadas fazendo uso de gráficos sejam maiores que as que irão ser futuramente dimensionadas. Junto a isso, o conhecimento que as cargas envolvidas no projeto são pequenas, deduziu-se que essa área estava superestimada.

Gráfico 02 – Pré-dimensionamento de pilares quanto à altura sem travamento



Fonte: Rebello, 2000.

Gráfico 03 – Pré-dimensionamento de pilares quanto à altura total



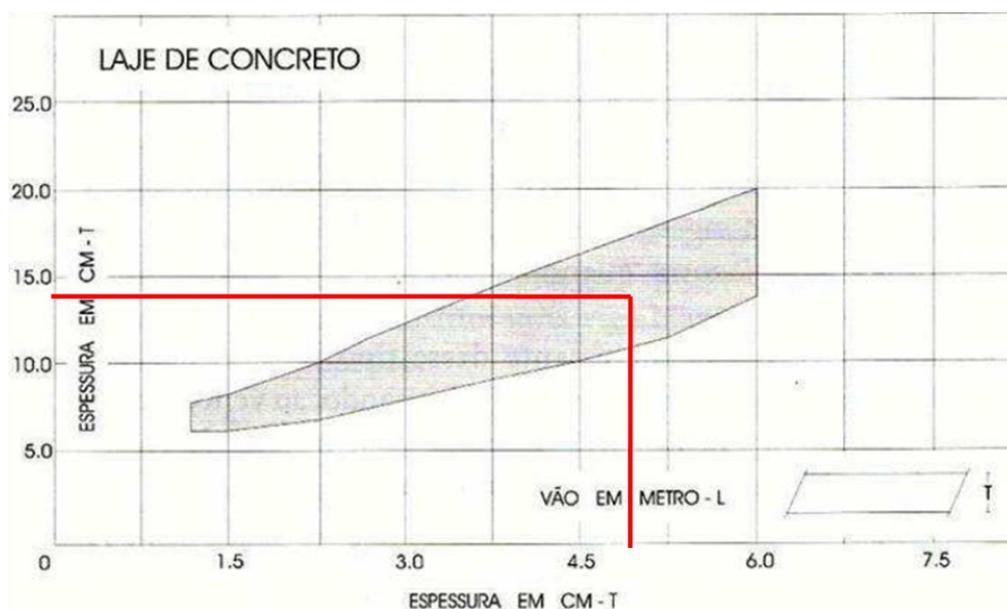
Fonte: Rebello, 2000.

Dessa forma, foi tomado em consideração o fato que a ABNT, através da NBR 6118:2014, estabelece que a área mínima para a seção dos pilares deve ser de 360cm². A mesma norma anteriormente citada também faz ponderações acerca das dimensões mínimas do pilar, estabelecendo essas como 19cm, mas abrindo exceções para determinadas situações, na quais a menor dimensão pode possuir até 14cm, contanto que as cargas sejam majoradas conforme

indicado na norma. Há ainda casos especiais, de acordo com a norma de desempenho, NBR 15575-2 de 2013, que afirma que para edifícios de até 6m de altura, as dimensões de um pilar podem ser menores que as determinadas pela NBR 6118, sem abrir mão das outras verificações necessárias. Levando em consideração os fatos supracitados, foi imposta uma seção de 15cm x 30cm para todos os pilares do projeto, totalizando uma área de 450cm² por elemento.

O processo para determinação das espessuras das lajes foi semelhante aos das vigas e dos pilares, dessa vez utilizando o gráfico 04, que faz uso dos vãos e cargas previstas e os relaciona com as alturas dos elementos. Tomando em consideração o maior vão de laje (5,15m), a análise do gráfico apontou uma espessura aproximada de 14cm. No entanto, sabendo que as lajes treliçadas são vendidas em dimensões comerciais específicas e 14cm não é usual, foi determinado então que a altura da laje pré-dimensionada seria 16cm.

Gráfico 04 – Pré-dimensionamento de lajes de concreto



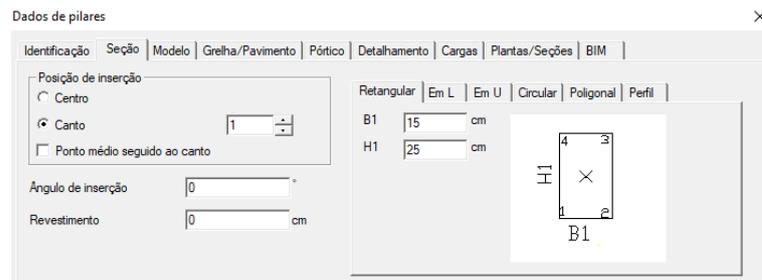
Fonte: Rebello, 2000.

4.4.4. Etapas do projeto realizadas no software

Dando continuidade ao projeto, após o lançamento da estrutura e o pré-dimensionamento de seus elementos, passou-se a utilizar o software para obter auxílio nas etapas relativas aos cálculos para dimensionamento e detalhamentos dos elementos. Em primeiro momento, foram configurados os detalhes preliminares do projeto, como a classe do concreto a ser utilizado (C25) e os cobrimentos normatizados (para classe de agressividade II,

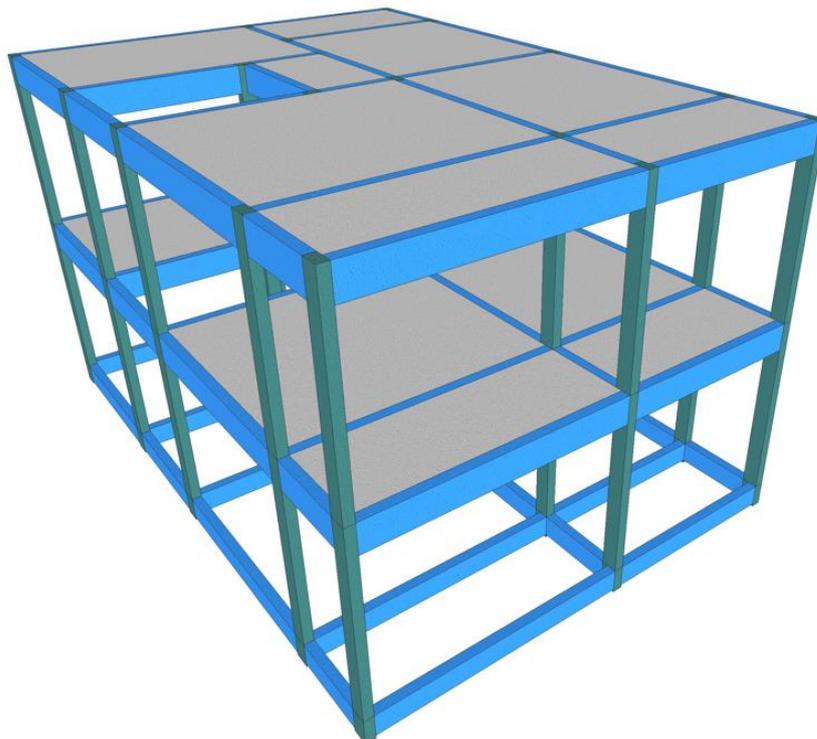
no presente caso). Em sequência, foi realizada a disposição dos elementos em cada um dos pavimentos existentes. Nesta etapa, são inseridos os pilares, as vigas, as lajes e outros possíveis elementos no modelo estrutural. Na figura 11 abaixo, pode-se observar a tela referente a etapa de inserção de pilares.

Figura 11 – Tela de configurações de pilares a serem inseridos



Nesta etapa, são impostas as seções dos elementos, as cargas que irão receber, seu posicionamento, entre outros detalhes. Todas essas definições seguiram o que foi estabelecido nos tópicos anteriores do trabalho referentes as ações consideradas e ao pré-dimensionamento dos elementos. Deve-se também definir detalhes como cruzamentos de vigas, indicando qual viga irá se apoiar em outra, e as direções principais das lajes. O modelo estrutural visualizado em três dimensões após o seu lançamento no software pode ser visualizado na figura 12 adiante.

Figura 12 – Visualização 3D da estrutura de concreto moldado no local



Após a disposição e definição das características dos elementos, foi realizado o processamento global do edifício, que consiste na execução de cálculos computacionais para a determinação dos esforços e armaduras. Além disso, também são realizadas verificações das flechas limites e se os deslocamentos são aceitáveis e parâmetros de estabilidade global como o γ_z . O TQS versão 23 realiza esses procedimentos através de métodos citados na seção 4.1 do trabalho e que não serão aprofundados neste tópico. O γ_z calculado foi aproximadamente 1,07, valor menor que 1,20, concluindo, portanto, que não haverá efeitos de segunda ordem na estrutura.

Após o processamento, é emitida uma lista de erros e avisos, com intuito de alertar o projetista de possíveis mudanças necessárias no pré-dimensionamento nos elementos. Tais avisos são classificados em leves, médios ou erros graves, sendo os últimos aqueles a quais o usuário deve verificar e realizar as devidas correções. Não foram acusados erros graves.

Posteriormente, cabe ao projetista realizar verificações de forma a concluir sobre a coerência ou não dos procedimentos realizados. Dessa forma, foram verificados os deslocamentos verticais nas lajes e vigas, sendo observado que havia valores acima do permitido para as lajes 2, 4 e 5 do pavimento superior. Tais lajes tiveram sua altura alterada, utilizando então uma de 20cm para que a estrutura tivesse comportamento adequado no estado limite de serviço. Após o novo processamento com as alturas das lajes alteradas, os deslocamentos foram normalizados e seus valores máximos se encontram na Tabela 01. Posteriormente foram analisadas as armaduras de todos os elementos dimensionadas pelo software, resultando em mudanças nos detalhes dos pilares P8 e P11, de modo que esses possuíssem apenas uma bitola para sua armadura longitudinal ao longo de todos os seus lances.

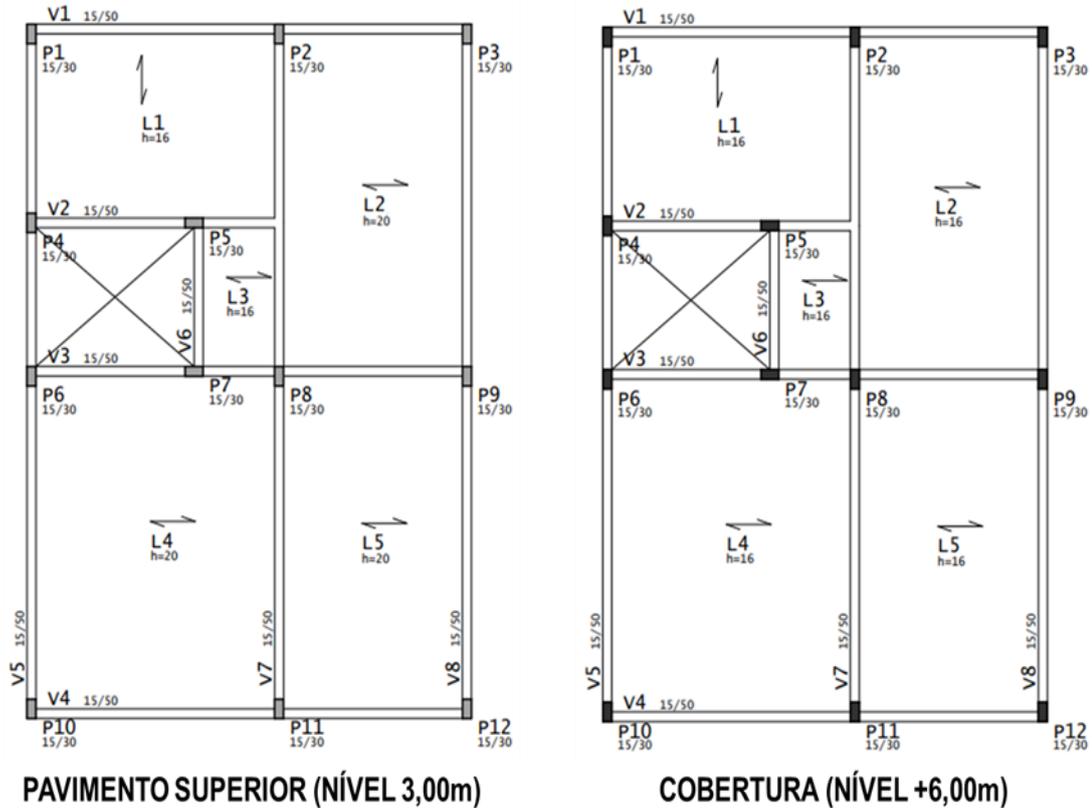
Tabela 01 – Deslocamentos máximos na estrutura

Nível	Deslocamento máx. (cm)	Flecha limite (cm)	Laje
Pavimento superior (+3,00m)	1,25	1,57	4
Coberta (+6,00m)	1,19	1,57	4

Realizadas as devidas verificações, foram configurados, gerados e exportados os desenhos componentes do projeto estrutural. As plantas de formas dos pavimentos superior e da cobertura podem ser observadas na figura 13 e 14 abaixo, enquanto outras pranchas com os

desenhos das armaduras dos elementos e outros detalhes necessários para o levantamento dos quantitativos encontram-se disponíveis para visualização no anexo E.

Figura 13 – Planta de forma dos pavimentos superior e da cobertura



4.5. PROJETO ESTRUTURAL PARA CONCRETO PRÉ-FABRICADO

4.5.1. Dados do projeto

O projeto para a estrutura de concreto armado pré-fabricada foi desenvolvido considerando a utilização de um material com f_{ck} de 25MPa para todas as peças estruturais. A princípio, a resistência característica à compressão seria de 20MPa, no entanto, devido ao não atendimento das solicitações existentes, esse valor foi aumentado de modo que a estrutura fosse estável. Os elementos são pré-fabricados, o que permite, entre outras coisas, a utilização de cobrimentos menores que os para elementos não industriais. Tais cobrimentos foram de 3cm para pilares e vigas e 2,5cm para as lajes treliçadas. As seções dos pilares e das vigas serão, em totalidade, retangulares e as lajes utilizadas serão do tipo treliçada. Em virtude da exigência limitante de pavimentos do software utilizado, não serão consideradas as lajes e vigas da escada no projeto, assim como os elementos do reservatório.

4.5.2. Determinação das seções

As seções dos elementos foram determinadas após pesquisa das dimensões mais comuns fornecidas localmente ou em lugares próximos da cidade de João Pessoa. Dessa forma, sendo este um projeto que não conta com esforços extremamente grandes, foram levados em considerações as menores seções disponíveis, de modo que o custo pudesse ser o menor possível.

Para os pilares, a princípio, foi escolhida uma seção quadrada de 25cm x 25cm, totalizando uma área de 625cm². No entanto, essas peças precisaram ser substituídas por uma maior, visto que estava resultando em um γ_z muito alto, o que poderia gerar complicações futuras para estrutura. Dessa forma, estabeleceu-se uma seção de 30cm x 30cm para os pilares da edificação.

No que se trata das vigas, essas terão seção retangular com base de 20cm e altura de 50 cm. Já quanto as lajes treliçadas, serão em sua maioria com altura total de 16cm, sendo 4cm de capeamento. As lajes 4 e 5 do pavimento superior, todavia, possuem altura total de 20cm, visto que com a de 16cm os deslocamentos seriam maiores que o permitido por norma, justificando a exceção.

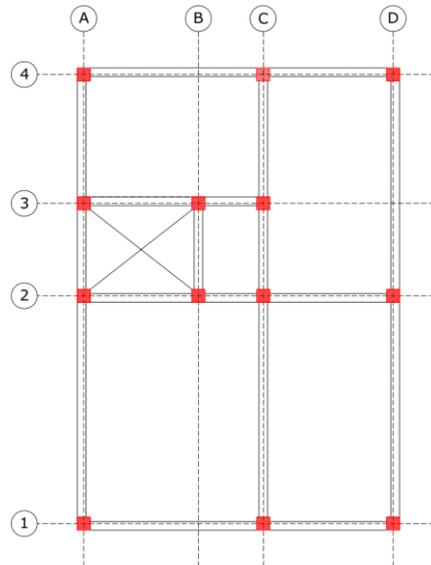
4.5.3. Lançamento da estrutura e determinação das regiões construtivas

O lançamento da estrutura pré-fabricada de concreto armado apresentou dificuldades devido as particularidades da arquitetura, como as pequenas dimensões de alguns vãos, e ao fato de o software utilizado não permitir o apoio de vigas sobre vigas através do uso de consolos. Dito isso, foi preciso a realização de algumas adaptações que resultaram em uma estrutura menos modulada do que poderia ser.

Para os elementos do pavimento superior e da cobertura, inicialmente, as vigas foram dispostas em 3 eixos principais na direção vertical e 3 eixos principais na direção horizontal, sendo acrescidas ainda de vigas menores ao redor do vazio da caixa da escada, para que não houvesse lajes com bordos livres. A inserção dessas vigas menores resultou em pilares foram dos eixos principais anteriormente citados, devido a impossibilidade oferecida pelo software de usar consolos para apoiar vigas em vigas. Quanto ao lançamento das lajes, vieram a totalizar 5

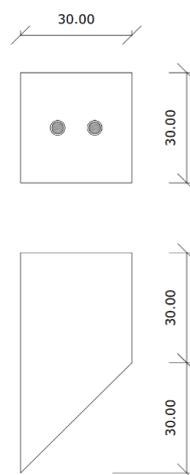
lajes por pavimento. Foram ainda lançadas vigas no térreo, com a mesma seção das vigas dos outros pavimentos. Assim, a estrutura conta com 13 pilares, 18 trechos de vigas e 5 lajes por pavimento (figura 14).

Figura 14 – Disposição dos pilares e vigas pré-fabricados



No tocante aos apoios entre vigas e pilares, foram utilizados consolos (figura 15) com dimensões projetadas horizontalmente de 30cm x 30cm, altura do trecho reto de 30cm e do trecho trapezoidal de 45cm. As ligações utilizadas são compostas por dois pinos de aço CA-50 e bitola de 16mm.

Figura 15 – Dimensões dos consolos (cm)

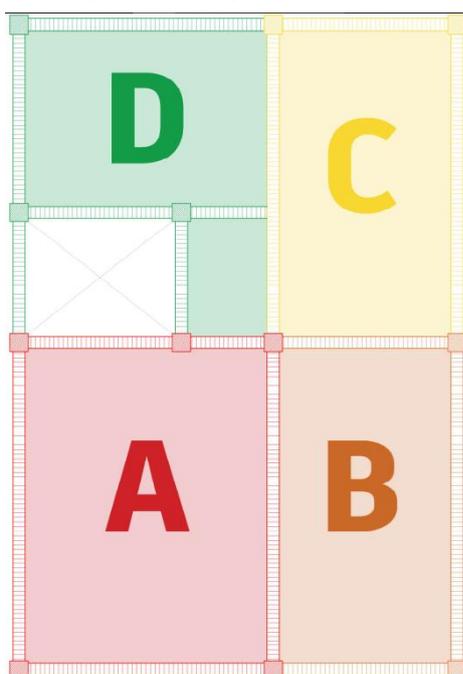


Analisando a estrutura como um todo, é possível perceber que o projeto é fundamentado como um sistema estrutural de esqueleto, ou seja, os elementos estruturais articulados entre si,

com os pilares engastados em seus apoios. Para efeito de cálculo, a dimensão engastada do pilar foi considerada 60cm.

Outra etapa anterior aos cálculos e dimensionamento dos elementos está ligada a determinação das regiões construtivas. Foram estabelecidas 4 regiões, A (cor vermelha), B (cor laranja), C (cor amarela) e D (cor verde), conforme se observa na figura 16. Essa divisão está relacionada à sequência de montagem da estrutura, ou seja, as etapas construtivas do projeto. Tal processo se dará na ordem ABCD e tem sua determinação como parte importante do projeto para que sejam analisados os esforços gerados em cada etapa antes que o sistema estrutural completo esteja finalizado. Essa questão, no entanto, não será debatida de forma mais aprofundada, por não ser o foco do presente estudo.

Figura 16 – Regiões construtivas



4.5.4. Processamento e verificações

Utilizando o TQS versão 23, após a disposição dos elementos e a definição das etapas construtivas, foram estabelecidas algumas definições de forma antecedente aos processos de cálculo. Além das ações citadas no tópico 4.3 deste trabalho, foram configuradas ainda as cargas de alvenaria referentes aos locais onde não há vigamento, ou seja, cargas que atuam sobre as lajes. Neste momento, também foram posicionadas as nervuras de cada uma das lajes treliçadas da estrutura, de forma a permitir o melhor detalhamento do cálculo e análise dos resultados.

Após o término das definições, foi realizado o processamento global do edifício, com intuito de analisar os esforços, dimensionar as armaduras e gerar os desenhos técnicos. Para estruturas pré-moldadas, o software realiza os cálculos levando em conta cada uma das situações ocorridas nas etapas construtivas e também para a estrutura acabada. Como o objetivo do trabalho diz respeito ao orçamento final do projeto, será dado enfoque aos resultados obtidos na etapa finalizada da estrutura.

Concluído o processamento, não houve a indicação de erros graves por parte do software. Em relação a estabilidade global do edifício, o γ_z calculado foi 1,09, sendo menor que o valor limite de referência de 1,2, ou seja, a estrutura não sofrerá com efeitos de segunda ordem. No tocante ao comportamento no estado limite de utilização, a estrutura também se mostrou adequada tanto nos deslocamentos horizontais quanto nos deslocamentos verticais nos pavimentos. Por precaução, foram verificados os deslocamentos verticais máximos em cada laje e viga através dos sistemas de grelhas disponibilizado pelo software. As tabelas 02 e 03 abaixo expõem, respectivamente, os valores máximos dos deslocamentos horizontais e o deslocamento vertical máximo por pavimento no edifício.

Tabela 02 – Deslocamentos na estrutura pré-fabricada de concreto armado

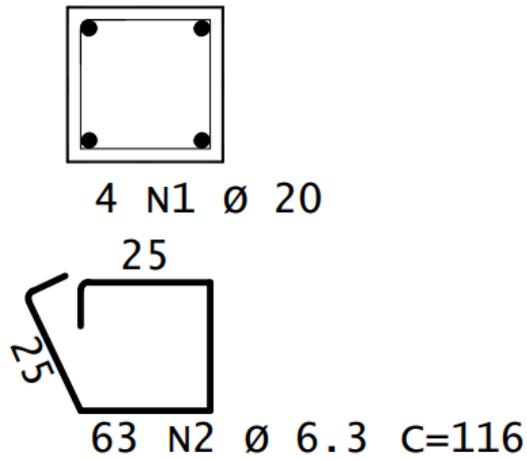
Deslocamento	Valor máximo (cm)	Limite (cm)
Topo do edifício (cm)	$(\text{Altura do edifício} / 3393) = 0,17$	$(\text{Altura do edifício} / 1700) = 0,38$
Entre pisos (cm)	$(\text{Altura do pavimento} / 2568) = 0,11$	$(\text{Altura do pavimento} / 850) = 0,35$

Tabela 03 – Deslocamentos verticais máximos por pavimento

Pavimento	Laje	Flecha máxima (cm)	Limite (cm)
Superior	4	1,16	1,49
Cobertura	4	1,29	1,49

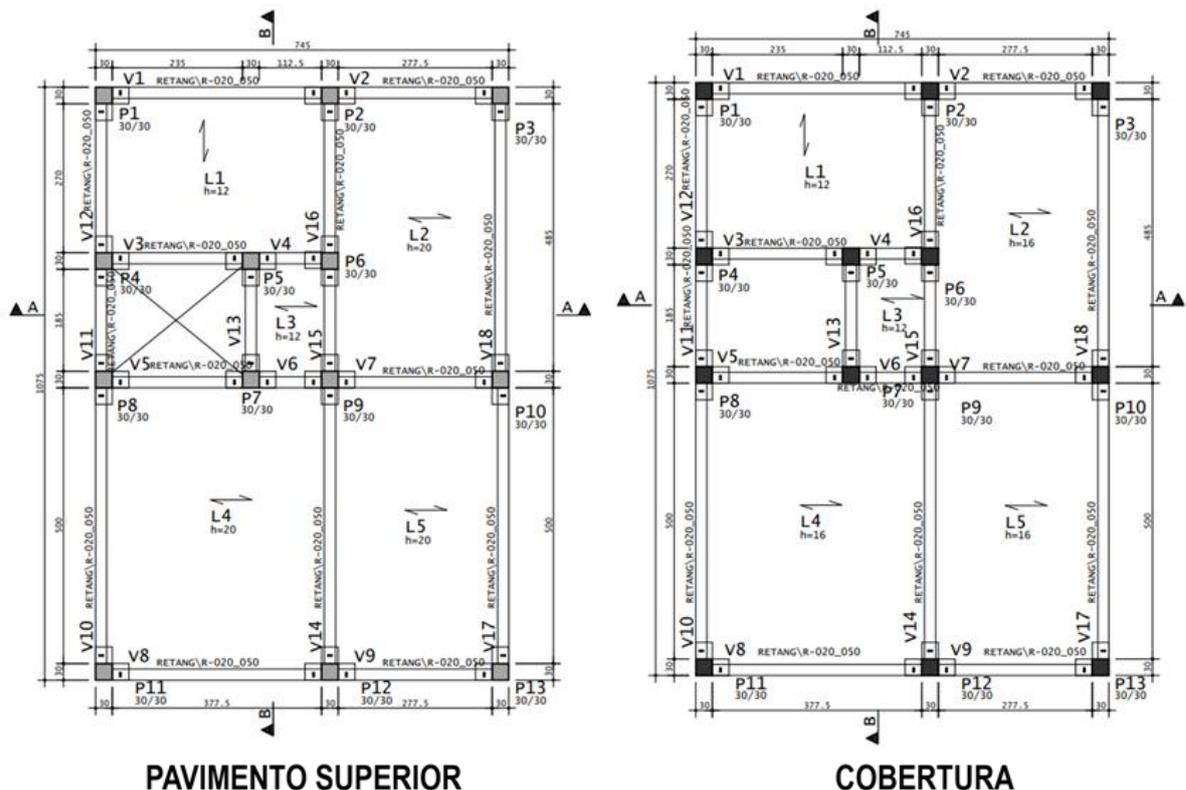
Em relação ao dimensionamento, houve uma padronização da armadura dos elementos. Tomando como exemplo os pilares, todos possuem suas armaduras com 4 barras longitudinais de 12.5mm e estribos de 6.3mm dispostos a cada 15cm, conforme se visualiza na figura 17 a seguir:

Figura 17 – Detalhe da armadura do pilar



Verificadas as armaduras e percebendo a coerência no dimensionamento executado pelo software, o projeto foi finalizado, sendo possível retirar os quantitativos de volume de vigas e pilares e áreas das lajes treliçadas para o desenvolvimento de seu orçamento. A planta de forma do pavimento superior e da cobertura podem ser vistas, respectivamente, na figura 18 a seguir, enquanto outros desenhos necessários para o levantamento dos quantitativos se encontram no anexo F.

Figura 18 – Plantas de forma do pavimento superior e da cobertura



4.6. LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS DE PROJETO

Ainda que os mais diversos programas computacionais informem após os procedimentos de cálculo os quantitativos de projeto como volume de concreto, não é contraindicado que haja uma verificação por parte dos projetistas destas quantidades, realizando os cálculos por si próprio de modo a garantir um maior grau de certeza, visto que a quantidade de materiais influencia de forma direta no orçamento e diante disso tem uma grande relevância perante o aspecto financeiro. Os materiais quantificados, de forma geral, são o volume de concreto, a quantidade de aço e a área de forma e, neste trabalho, serão quantificados para os elementos de pilares, vigas e lajes. Serão analisados os valores totais fornecidos pelo software e os calculados pelo autor, sendo considerado para o cálculo do orçamento aqueles que se apresentarem maiores.

4.6.1. Volume de concreto

O volume de concreto é comumente apresentado em metros cúbicos (m³) e pode ser facilmente calculado fazendo uso das dimensões dos elementos. Como todos os elementos de ambos os projetos possuem seções retangulares, esse cálculo se torna ainda mais simples.

Para os pilares, o volume de concreto pode ser calculado através da equação 04:

$$V_p = a_p * b_p * h_p \quad (\text{equação 4})$$

Sendo:

V_p o volume de concreto do pilar;

a_p a menor dimensão do pilar;

b_p a maior dimensão do pilar;

h_p a altura do pilar.

Para vigas, de modo semelhante, temos o cálculo expresso através da equação 05:

$$V_v = b_v * h_v * l_v \quad (\text{equação 5})$$

Sendo:

V_v o volume de concreto da viga;
 b_v a base da viga;
 h_v a altura da viga;
 l_v o comprimento da viga.

Por fim, analogamente, o volume de concreto para lajes pode ser calculado através da equação 06:

$$V_l = a_l * b_l * e_l \quad \text{(equação 6)}$$

Sendo:

V_l o volume de concreto da laje;
 a_l a menor dimensão da laje;
 b_l a maior dimensão da laje;
 e_l a espessura da laje.

4.6.2. Quantidade de aço

No que se trata da quantidade de aço, essa geralmente é dada em kg e pode ser calculada levando em conta o comprimento das barras nos elementos e o peso específico (tabela 04) em função da bitola e do tipo de aço utilizado.

Tabela 04 – Peso específico do aço em função das bitolas

Bitola (mm)	Peso específico (kg/m)
5.0	0,154
6.3	0,245
8.0	0,395
10.0	0,617
12.5	0,963
16.0	1,578
20.0	2,466
25.0	3,853

Fonte: ArcelorMittal, 2022 (adaptado).

De uma forma geral, em um projeto estrutural, os detalhes da armadura informam a quantidade de barras em uma determinada posição, sua bitola e seu comprimento. Tomando como exemplo uma armadura descrita por “4 N1 ϕ 8.0 C = 300”, há 4 barras posicionadas na posição N1, com uma bitola de 8mm e cada uma com comprimento de 300cm. Assim, para calcular o peso das barras que se encontram nessa posição, é possível utilizar a equação 07:

$$P_a = Q * C * \gamma * 0,01 \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

P_a é a quantidade de aço, em kg;

Q é a quantidade de barras;

C é comprimento das barras, em cm;

γ é o peso específico do aço de acordo com a bitola, em kg/m.

Assim, realizando esse cálculo para todas as posições de aço de uma peça qualquer, pode-se determinar a quantidade total de aço nesse elemento.

4.6.3. Área de forma

As formas, para o concreto moldado *in loco*, representam um custo representativo para o orçamento de uma obra e, portanto, exigem precisão na determinação das quantidades envolvidas. Novamente é trazido à tona o fato de os elementos possuírem formatos retangulares, o que facilita o cálculo quando comparados à outras formas geométricas. De uma maneira geral, as áreas de formas podem ser calculadas através das equações que serão apresentadas a seguir, no entanto deve-se ter atenção a determinadas peculiaridades, como cruzamentos de vigas, onde, à priori, não haverá forma.

Assim, para pilares, calcula-se a área de forma através da equação 08:

$$A_p = 2 * (a_p + b_p) * h_p \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

A_p é a área de forma do pilar;

a_p a menor dimensão do pilar;

b_p a maior dimensão do pilar;
 h_p a altura do pilar.

Para o cálculo da área de forma das vigas, de modo geral, faz-se uso da equação 09 explicitada adiante, sendo a primeira parcela entre parêntese equivalente às formas laterais e a segunda à forma de fundo.

$$A_v = (2 * l_v * h_v) + (b_v + l_v) \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

A_v é a área de forma da viga;
 l_v o comprimento do vão da viga;
 h_v a altura da viga;
 b_v a base da viga.

Quanto às formas das lajes, não serão necessárias no presente trabalho, mas podem ser calculadas através da equação 10 adiante:

$$A_l = a_l * b_l \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

A_l é a área de forma da laje;
 a_l é a menor dimensão da laje;
 b_l é a maior dimensão da laje.

É importante ratificar que há exceções para os casos apresentados acima e, dessa forma, cabe ao orçamentista atenção para que haja a maior precisão possível durante a etapa de levantamento dos quantitativos de forma.

4.7. DESENVOLVIMENTO DOS ORÇAMENTOS DOS PROJETOS

A etapa final do trabalho, o desenvolvimento dos orçamentos para o projeto estrutural de concreto armado moldado no local e concreto armado pré-fabricado, foi realizado através do

uso de composições de custos disponibilizadas em bancos de dados de instituições como o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI.

O SINAPI tem como objetivo a produção de séries mensais de custos e índices relacionados materiais, equipamentos, mão de obra e serviços da construção civil, sendo tais séries de suma importância no planejamento de investimento, principalmente na esfera pública, fornecendo auxílio na elaboração, análise e avaliação de orçamentos (IBGE, 2022). Além do SINAPI, também foram utilizados banco de dados como o Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe – ORSE, cujo índices são utilizados com frequência em orçamentos de obras públicas.

Quantos às composições de custos, estão relacionadas a um serviço e ao processo de designar os custos recorrentes à execução dessa atividade, levando em consideração todos os insumos que compõe a atividade, suas quantidades, custos unitários e custos totais (Mattos, 2007). Apresentou-se necessário a realização de adaptações em determinados composições, sobretudo naquelas que dizem respeito às estruturas de concreto armado pré-fabricado, com intuito de obter uma maior aproximação dos serviços descritos pelas composições utilizadas. Os valores fazem referência ao mês de abril de 2022 e, quando do SINAPI, ao estado da Paraíba.

4.7.1. Orçamento para o projeto de concreto armado moldado no local

Para o concreto armado moldado *in loco*, os principais serviços tomados em consideração para o desenvolvimento estão relacionados a produção do concreto, das formas e das armaduras. Quanto ao concreto das vigas e lajes, foi procurada uma composição que atendesse aos requisitos do projeto, ou seja, um concreto de fck = 25 MPa. Além disso, a composição de custos escolhida (tabela 05) engloba o transporte, bombeamento, lançamento, os materiais utilizados e a mão de obra.

Tabela 05 – Composição para o concreto moldado *in loco*

Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
Composição principal	11619	ORSE	Concreto simples usinado fck=25mpa, bombeado, lançado e adensado em superestrutura	m³			
Composição Auxiliar	34493	SINAPI	Concreto usinado bombeavel, classe de resistencia c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, exclui servico de bombeamento (NBR 8953)	m³	1,0000	359,86	359,86
Composição Auxiliar	00129	ORSE	Bombeamento de concreto	m³	1,0000	39,82	39,82
Composição auxiliar	00128	SINAPI	Lançamento de concreto usinado, bombeado, em peças armadas da superestrutura, inclusive colocação, adensamento e acabamento	m³	1,0000	41,35	41,35
						Total	441,03

Fonte: ORSE, 2022 (Adaptado).

Observando a composição detalhada anteriormente na tabela 05, percebe-se que o custo para a concretagem será de R\$ 431,17 por m³ de concreto. Portanto, para o cálculo do preço final do serviço, será relacionado o custo do serviço com a quantidade do material, conforme calculado e explicado no tópico 4.6.1 deste trabalho. Assim, pela equação 11:

$$C_c = V_c * P_{unit,concreto} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

C_c é o custo do concreto, em R\$;

V_c é o volume calculado de concreto, em m³;

$P_{unit,concreto}$ é o preço unitário do concreto, em R\$/m³.

Para a precificação do serviço de armação, foram utilizadas variadas composições em função das bitolas do aço e dos elementos estruturais. Tais composições incluem os materiais e a mão de obra para montagem da armadura nos seus devidos locais. As composições utilizadas, juntamente com seus valores unitários, estão dispostas na tabela 06.

Tabela 06 – Composições para o serviço de armação

Código	Banco	Descrição	Unidade	Valor unitário
92759	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5.0mm - montagem.	kg	19,27
92760	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6.3mm - montagem.	kg	18,32
92761	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8.0mm - montagem.	kg	17,25
92762	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10.0mm - montagem.	kg	15,43
92763	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12.5mm - montagem.	kg	13,01
92764	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.	kg	12,20
96543	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-60 de 5mm - montagem.	kg	19,26
96544	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 6.3mm - montagem.	kg	18,29
96545	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 8mm - montagem.	kg	17,26
96546	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 10.0mm - montagem.	kg	15,50

Fonte: SINAPI, 2022 (Adaptado).

De forma semelhante ao cálculo do custo total do concreto, utiliza-se o quantitativo de aço equivalente a cada uma das composições escolhidas para obter o valor final (equação 12):

$$C_a = Q_a * P_{unit,armação} \quad (\text{equação 12})$$

Onde:

C_a é o custo final do serviço de armação;

Q_a é a quantidade de aço em kg;

$P_{unit,armação}$ é o preço unitário do serviço de armação, em R\$/kg.

No que trata do orçamento das formas, as composições escolhidas foram divididas entre os tipos de elementos (pilares e vigas) e nas etapas de fabricação e aplicação. As composições também abrangem os serviços de escoramento e cimbramento, quando necessário. Na tabela 07 estão discriminadas todas as composições utilizadas.

Tabela 07 – Composições para os serviços relacionados às formas

Código	Banco	Descrição	Unidade	Valor unitário
92263	SINAPI	Fabricação de forma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm	m ²	152,29
92423	SINAPI	Montagem e desmontagem de forma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 6 utilizações	m ²	54,66
92265	SINAPI	Fabricação de forma para vigas, em chapa de madeira resinada, e = 17mm	m ²	99,43
92460	SINAPI	Montagem e desmontagem de forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, 6 utilizações	m ²	82,92
96542	SINAPI	Fabricação, montagem e desmontagem de forma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm, 4 utilizações	m ²	80,69

Fonte: SINAPI, 2022 (Adaptado).

Diante disso, para o valor dos serviços relacionados às formas, utiliza-se a equação 13:

$$C_f = A_f * P_{unit,forma} \quad (\text{equação 13})$$

Onde:

C_f é o custo final dos serviços relacionados às formas, em R\$;

A_f é a área de forma equivalente a cada composição, em m²;

$P_{unit,forma}$ é o preço unitário dos serviços, em R\$/m².

Por fim, para o serviço das lajes treliçadas foram determinadas duas composições que medem o valor total da atividade em função da área projetada horizontalmente dos elementos. A primeira composição diz respeito às lajes treliçadas de 16cm (tabela 08) e às lajes treliçadas de 20cm (tabela 09).

Tabela 08 – Composição para lajes treliçadas de 16cm

Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
Composição principal	07823	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m ²			
Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m ³ /m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m ²	1,0000	70,00	70,00
Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida,sem transporte)	m ³	0,0600	93,70	5,62
Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
Insumo	01319	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60
Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo 2,5 x 10 cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	0,0408	105,81	4,32
Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor,sem frete	m ³	0,0136	105,25	1,43
Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
Insumo	06189	SINAPI	Tabua nao aparelhada 2,5 x 30 cm, em macaranduba, angelimou equivalente da região - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
Composição	10549	ORSE	Encargos complementares - servente	h	2,1000	3,72	7,81
Composição	10550	ORSE	Encargos complementares - pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
Composição	10551	ORSE	Encargos complementares - carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
Composição	10552	ORSE	Encargos complementares - armador	h	0,1500	3,56	0,53
						Total	187,39

Fonte: ORSE, 2022 (Adaptado).

Assim, com estes quatro serviços determinados, é possível chegar ao valor final do orçamento para o serviço da estrutura de concreto armado moldado no local. Esse valor se dará pela soma dos custos do concreto, do aço e das formas, como exposto na equação 14:

$$C = C_c + C_a + C_f + C_{l,t} \quad (\text{equação 14})$$

Onde:

C é o custo final da estrutura de concreto armado moldado no local;

C_c é o custo dos serviços relacionados ao concreto;

C_a é o custo dos serviços relacionados à armação;

C_f é o custo dos serviços relacionados às formas;

$C_{l,t}$ é o custo das lajes treliçadas.

Tabela 09 – Composição de custo para laje treliçada de 20cm

Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
Composição principal	09458	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	m ²			
Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m ³ /m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m ²	1,0000	107,88	107,88
Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida,sem transporte)	m ³	0,0600	93,70	5,62
Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
Insumo	01319	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60
Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo 2,5 x 10 cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	0,0408	105,81	4,32
Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor,sem frete	m ³	0,0136	105,25	1,43
Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
Insumo	06189	SINAPI	Tabua nao aparelhada 2,5 x 30 cm, em macaranduba, angelimou equivalente da região - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
Composição	10549	ORSE	Encargos complementares - servente	h	2,1000	3,72	7,81
Composição	10550	ORSE	Encargos complementares - pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
Composição	10551	ORSE	Encargos complementares - carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
Composição	10552	ORSE	Encargos complementares - armador	h	0,1500	3,56	0,53
						Total	225,27

Fonte: ORSE, 2022 (Adaptado).

4.7.2. Orçamento para o projeto de concreto armado pré-fabricado

No desenvolvimento do orçamento para determinação dos custos da estrutura de concreto armado pré-fabricado, foram utilizadas composições disponibilizadas pelo SINAPI, na versão número 3 de seu caderno técnico de composições para elementos pré-moldados. No entanto, o caderno utilizado apresenta apenas as composições auxiliares e os insumos das composições, sendo, portanto, os preços unitários pesquisados nas bases de dados atualizadas da instituição e realizadas modificações que se mostraram necessárias.

Assim, para os pilares pré-fabricados, fez-se uso da composição apresentada na tabela 08 adiante:

Tabela 10 – Composição de custos para o serviço de pilares pré-fabricados

Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
Composição principal	01.FUES.PREM.00 1/01	SINAPI	Fornecimento e montagem de pilares pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	m³			
Composição Auxiliar	88309	SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	h	1,0770	22,04	23,74
Composição auxiliar	88316	SINAPI	Servente com encargos complementares	h	2,1530	17,36	37,38
Composição auxiliar	89272	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T,	CHP	0,6200	184,30	114,27
Composição auxiliar	88273	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T,	CHI	0,4560	78,32	35,71
Insumo		Cotação	Pilar de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	m³	1,0000	1215,39	1215,39
						Total	1426,48

Fonte: SINAPI, 2018 (Modificado).

Para as vigas de concreto armado pré-fabricadas, a composição de custos utilizada se encontra descrita na tabela 09 abaixo:

Tabela 11 – Composição de custos para serviço de vigas pré-fabricadas

Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Total
Composição principal	01.FUES.PREM.00 2/01	SINAPI	Fornecimento e montagem de vigas pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	m³			
Composição Auxiliar	88309	SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	h	0,3780	22,04	8,33
Composição auxiliar	88316	SINAPI	Servente com encargos complementares	h	0,7560	17,36	13,12
Composição auxiliar	89272	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T,	CHP	0,1980	184,30	36,49
Composição auxiliar	88273	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T,	CHI	0,1800	78,32	14,10
Insumo		Cotação	Viga de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	m³	1,0000	3063,61	3063,61
						Total	3135,65

Fonte: SINAPI, 2018 (Modificado).

Tratando-se das lajes treliçadas aplicadas no projeto, foram selecionadas as mesmas composições apresentadas nas tabelas 08 e 09 anteriormente expostas.

Para o cálculo do custo final de cada um dos elementos, multiplica-se o preço unitário pelo quantitativo pelo qual o custo unitário é dado (equação 15). Para os pilares e vigas de concreto armado pré-fabricados, esse quantitativo será o volume total dos elementos. As lajes treliçadas, por sua vez, tem seu custo estabelecido por m², medidos através da área projetada horizontalmente.

$$C_s = Q * P_{unit,s} \quad (\text{equação 15})$$

Onde:

C_s é o custo do serviço, em R\$;

Q é a quantidade, em m^3 para pilares e vigas e em m^2 para as lajes treliçadas;

$P_{unit,s}$ é o preço unitário do serviço, em R\$/ m^3 para pilares e vigas e em R\$/ m^2 para as lajes treliçadas.

O custo final dos elementos pré-fabricados, conseqüentemente, será a soma de cada um dos serviços que compõe o orçamento, como pode ser observado na equação 16:

$$C = C_{p,p} + C_{v,p} + C_{l,t} \quad (\text{equação 16})$$

Sendo:

C o custo final das estruturas pré-fabricadas;

$C_{p,p}$ o custo do serviço de pilares pré-fabricados;

$C_{v,p}$ o custo do serviço de vigas pré-fabricadas;

$C_{l,t}$ o custo do serviço das lajes treliçadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, serão expostos os orçamentos para ambos os tipos de estruturas projetadas e, ao fim, serão comparados os custos de modo a avaliar a viabilidade da execução dos elementos de concreto armado pré-fabricados para esse caso específico.

5.1. ORÇAMENTO DA ESTRUTURA MOLDADA IN LOCO

5.1.1. Quantitativos do projeto

Os quantitativos de projeto estarão expostos por meio de tabelas que serão exibidas a seguir. Quanto ao consumo de concreto, pode-se observar os valores separados por elementos e pavimentos na tabela 12:

Tabela 12 – Volume de concreto para estrutura moldada no local

Nível	Conc. pilares (m ³)	Concreto vigas (m ³)	Total (m ³)
0,00	0,22	3,69	3,91
3,00	1,62	4,18	5,80
6,00	1,62	4,18	5,80
Total	3,46	12,05	15,51

A tabela 13 abaixo mostra os quantitativos tocantes à armadura dos elementos estruturais:

Tabela 13 – Quantidade de aço (kg) para estrutura moldada no local

Bitola (mm)	Pilares	Vigas baldrame	Vigas pavimento superior	Vigas cobertura
5.0	80	63	61	60
6.3	21		1	
8.0		69	191	
10.0	211	81	75	220
12.5	38		26	
16.0	59	48		

Quanto as áreas de forma, estarão divididas pelo diâmetro da bitola e pelo nível em que se localiza na tabela 14 adiante:

Tabela 14 – Área de forma para estrutura moldada no local

Nível	Forma pilares (m ²)	Forma vigas (m ²)	Total (m ²)
0,00	4,32	59,76	64,08
3,00	32,40	53,13	85,53
6,00	32,40	53,13	85,53
Total	69,12	166,02	235,14

Por fim, as áreas projetadas horizontalmente das lajes treliçadas estão discriminadas na tabela 15:

Tabela 15 – Quantitativo das lajes treliçadas da estrutura de concreto moldado no local

Nível	Número	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)
3,00	1	0,16	4,15	3,00	12,45
3,00	2	0,16	3,15	5,30	16,70
3,00	3	0,16	1,35	2,30	3,11
3,00	4	0,20	4,15	5,30	22,00
3,00	5	0,20	3,15	5,30	16,70
6,00	1	0,16	4,15	3,00	12,45
6,00	2	0,16	3,15	5,30	16,70
6,00	3	0,16	1,35	2,30	3,11
6,00	4	0,16	4,15	5,30	22,00
6,00	5		3,15	5,30	16,70
Total 16cm					86,50
Total 20cm					55,39

5.1.2. Custo do concreto

Sabendo o volume total de concreto exposto na seção anterior, equivalente a 15,51m³, através da equação 11 obteve-se o seguinte valor para o custo do concreto:

$$C_c = 15,51 * 441,03 = R\$ 6840,38$$

5.1.3. Custo da armação

O cálculo do custo das armações foi realizado separadamente por bitola e por tipo de elemento estrutural. Fez-se uso da equação 12 e dos valores expostos na tabela 06, e os custos individuais e totais estarão expostos abaixo (tabela 16):

Tabela 16 – Custo dos serviços de armação

2.1	SINAPI	92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5.0mm - montagem.	201,00	kg	19,27	3.873,27
2.2	SINAPI	92760	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6.3mm - montagem.	22,00	kg	18,32	403,04
2.3	SINAPI	92761	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8.0mm - montagem.	191,00	kg	17,25	3.294,75
2.4	SINAPI	92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10.0mm - montagem.	506,00	kg	15,43	7.807,58
2.5	SINAPI	92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12.5mm - montagem.	64,00	kg	13,01	832,64
2.6	SINAPI	92764	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.	59,00	kg	12,20	719,80
2.7	SINAPI	96543	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-60 de 5mm - montagem.	63,00	kg	19,26	1.213,38
2.9	SINAPI	96545	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 8mm - montagem.	69,00	kg	17,26	1.190,94
2.10	SINAPI	96548	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.	48,00	kg	12,53	601,44

Assim, o valor total dos serviços de armação, após somar todos os itens, é de R\$ 19.936,84.

5.1.4. Custo das formas

Fazendo uso das composições determinadas para os serviços relacionado as formas e dos quantitativos anteriormente expostos, os custos de tais serviços se encontram discriminados adiante (tabela 17):

Tabela 17 – Custos referentes aos serviços de forma

Fabricação de forma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm	87,04	m ²	152,29	13.255,32
Montagem e desmontagem de forma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 6 utilizações	87,04	m ²	54,66	4.757,61
Fabricação de forma para vigas, em chapa de madeira resinada, e = 17mm	119,22	m ²	99,43	11.854,04
Montagem e desmontagem de forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, 6 utilizações	119,22	m ²	82,92	9.885,72
Fabricação, montagem e desmontagem de forma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm, 4 utilizações	59,20	m ²	80,69	4.776,85

Diante disso, somando todos os itens expostos acima, tem que o custo total para os serviços relacionados as formas será de R\$ 44.529,54.

5.1.5. Custo das lajes treliçadas

Em posse da área projetada horizontalmente das lajes treliçadas do projeto para concreto armado moldado *in loco* e tendo conhecimento dos preços unitários dos serviços, sendo esses R\$ 187,39 para as lajes de 16cm e R\$ 225,27 para as lajes de 20cm, calculou-se o custo final do serviço:

$$C_{l,t,16} = 86,50 * 187,39 = R\$ 16.208,39$$

$$C_{l,t,20} = 55,39 * 225,27 = R\$ 12.476,64$$

$$C_{l,t} = 16.208,39 + 12.476,64 = R\$ 28.685,03$$

Portanto, as lajes treliçadas do edifício terão o custo de R\$ 28.685,03.

5.1.6. Custo total e orçamento final

Como exposto, o concreto possui valor de R\$ 6.840,38, os serviços de armação R\$ 19.936,84, as formas R\$ 44.529,54 e as lajes treliçadas R\$ 28.685,03. Dessa maneira, o custo total será:

$$C = 6.840,38 + 19.936,84 + 44.529,54 + 28.685,03 = R\$ 99.991,79$$

O orçamento, com todos os itens discriminados e conjuntos, se encontra disponível no anexo G.

5.2. ORÇAMENTO DA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA

5.2.1. Quantitativos do projeto

Como visto na seção 4.7.2, as composições dos pilares e vigas pré-fabricados têm seu valor unitário em R\$/m³, enquanto as composições referentes as lajes treliçadas são medidas

em R\$/m². Portanto, para calcular os custos da estrutura pré-fabricada de concreto armado, foram levantados os volumes dos pilares e das vigas e a área projetada horizontalmente das lajes treliçadas. No que se refere ao volume dos pilares, foi calculada a quantidade de cada um elemento, levando em consideração os consolos de todos os pavimentos, como se observa a seguir (tabela 18). A altura total (6,6 metros) dos pilares diz respeito aos 3 metros de cada pavimento acrescidos de 60cm que serão engastados nos apoios. O volume total desses elementos foi 10,56m³.

Tabela 18 – Volume dos pilares de concreto armado pré-fabricados

Número	Dimensão 1 (m)	Dimensão 2 (m)	Altura (m)	Área seção (m ²)	Quantidade consolos	Volume pilar (m ³)	Volume unitário consolos (m ³)	Volume consolos (m ³)	Volume total (m ³)
1	0,30	0,30	6,60	0,09	4,00	0,59	0,04	0,16	0,76
2	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
3	0,30	0,30	6,60	0,09	4,00	0,59	0,04	0,16	0,76
4	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
5	0,30	0,30	6,60	0,09	4,00	0,59	0,04	0,16	0,76
6	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
7	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
8	0,30	0,30	6,60	0,09	8,00	0,59	0,04	0,32	0,92
9	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
10	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
11	0,30	0,30	6,60	0,09	4,00	0,59	0,04	0,16	0,76
12	0,30	0,30	6,60	0,09	6,00	0,59	0,04	0,24	0,84
13	0,30	0,30	6,60	0,09	4,00	0,59	0,04	0,16	0,76
Total									10,56

Em relação ao volume das vigas, foi levado em conta o fator de que as vigas são iguais em todos os pavimentos. Portanto, a tabela 19 mostra o volume de cada unidade e os multiplica por 3, relativos as vigas da cobertura, do pavimento superior e do térreo, resultando em 15,84m³.

Tabela 19– Volume das vigas de concreto armado pré-fabricadas

Número	Quantidade	Base (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Volume (m ³)
1	3	0,20	0,50	3,78	1,13
2	3	0,20	0,50	2,78	0,83
3	3	0,20	0,50	2,35	0,71
4	3	0,20	0,50	2,35	0,71
5	3	0,20	0,50	1,13	0,34
6	3	0,20	0,50	2,78	0,83
7	3	0,20	0,50	3,78	1,13
8	3	0,20	0,50	2,78	0,83
9	3	0,20	0,50	5,00	1,50
10	3	0,20	0,50	1,85	0,56
11	3	0,20	0,50	2,70	0,81
12	3	0,20	0,50	1,85	0,56
13	3	0,20	0,50	5,00	1,50
14	3	0,20	0,50	4,85	1,46
15	3	0,20	0,50	5,00	1,50
16	3	0,20	0,50	4,85	1,46
Total					15,84

Por fim, o quantitativo das lajes, dado em metros quadrados, foi calculado individualmente para cada elemento, sendo somados separadamente os das lajes treliçadas de 16cm e os da de 20cm (tabela 20). O total foi de 89,77m² de lajes treliçadas de 16cm e 34,43m² de lajes treliçadas de 20cm.

Tabela 20 – Área da projeção horizontal das lajes do projeto de estruturas pré-fabricadas

Nível	Número	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)
3,00	1	0,16	3,00	4,17	12,50
3,00	2	0,20	3,08	5,25	16,17
3,00	3	0,16	1,23	2,25	2,76
3,00	4	0,20	4,17	5,30	22,07
3,00	5	0,20	3,08	5,30	16,32
6,00	1	0,16	3,00	4,17	12,50
6,00	2	0,16	3,08	5,25	16,17
6,00	3	0,16	1,23	2,25	2,76
6,00	4	0,16	4,17	5,30	22,07
6,00	5	0,16	3,08	5,30	16,32
Total 16cm					85,07
Total 20cm					54,57

5.2.2. Custo dos pilares

Sabendo que o preço unitário da composição de custos para pilares pré-fabricados é R\$ 1.426,48 e o volume dos elementos é 10,56m³, pode-se calcular o custo do serviço da maneira expressada a seguir:

$$C_{p,p} = 10,56 * 1426,48 = R\$ 15.063,63$$

Portanto, os serviços ligados aos pilares pré-fabricados, em que se incluem fabricação, transporte e montagem, terão um custo estimado de R\$ 15.063,63.

5.2.3. Custo das vigas

No tópico 5.2.1 o volume calculado de vigas foi de 15,84m³. Esse dado, juntamente com o preço unitário do serviço de vigas pré-fabricadas, que é R\$ 3.135,65, permite o cálculo do custo, demonstrado adiante:

$$C_{v,p} = 15,84 * 3135,65 = R\$ 49.825,48$$

Diante disso, as vigas pré-fabricadas têm seu custo estimado em R\$ 49.825,48.

5.2.4. Custo das lajes treliçadas

O cálculo das lajes treliçadas se deu de modo semelhante ao realizado na seção 5.1.5 do presente trabalho, como é possível observar abaixo:

$$C_{l,t,16} = 85,07 * 187,39 = R\$ 15.941,27$$

$$C_{l,t,20} = 54,57 * 225,27 = R\$ 12.292,98$$

$$C_{l,t} = 16.822,00 + 7.756,05 = R\$ 28.234,25$$

Portanto, as lajes treliçadas do edifício terão o custo de R\$ 28.234,25.

5.2.5. Custo total e orçamento final

Conhecidos os custos dos serviços dos pilares, das vigas e das lajes treliçadas, soma-se seus valores para determinar o custo total da estrutura com elementos de concreto armado pré-fabricados.

$$C = 15.063,66 + 49.825,55 + 28.234,25 = R\$ 93.123,24$$

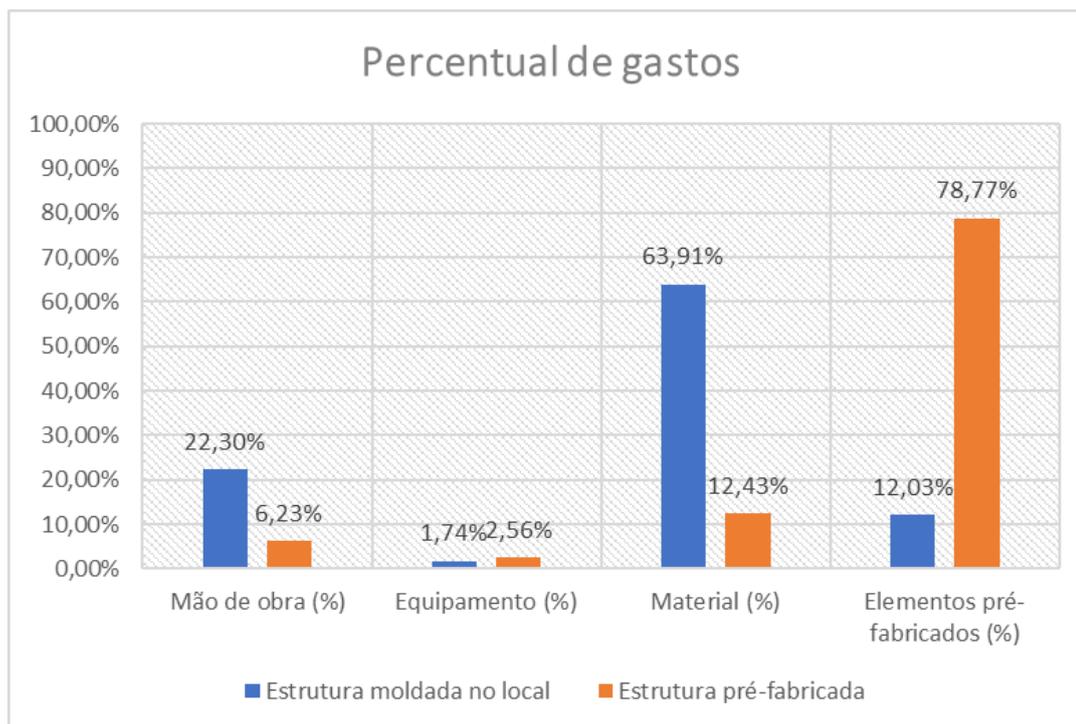
Diante do exposto, observa-se que o custo total para a estrutura composta por elementos pré-fabricados é estimado em R\$ 93.123,24, incluídos os serviços de fabricação, transporte e montagem. O orçamento encontra-se disponível para visualização no anexo H.

5.3. DISCUSSÃO

Analisando por uma perspectiva global e apenas do valor final de cada um dos tipos de estruturas projetadas, percebe-se, de forma objetiva, que o custo final das estruturas de concreto moldados no local foram cerca de 7% maiores que o da estrutura pré-fabricada de concreto armado, representando uma diferença de R\$ 6.868,56. É necessário, no entanto, entender as causas dessa diferença, analisando a situação do ponto de vista dos gastos com material, mão de obra e equipamentos. Essa seção do presente trabalho tem esse objetivo, além de propor a reflexão de possíveis situações imprevistas nas composições e consequentemente nos orçamentos que possam vir a gerar gastos adicionais e modificar o custo total dos serviços.

O gráfico 05 apresenta a divisão dos gastos para cada um dos projetos em mão de obra, equipamentos e materiais, além dos elementos pré-fabricados comprados diretamente da indústria, permitindo uma visão geral do destino dos recursos empregados em cada tipo de sistema estrutural.

Gráfico 05 – Percentual de gastos por destinação



Analisando os dados, pode-se observar que há uma concentração muito grande do valor do orçamento do projeto de estruturas de concreto armado pré-fabricadas nos elementos que serão produzidos na fábrica, se aproximando de 80% do valor total estimado. Tais custos envolvem tanto a produção quanto as etapas de transporte até o local da obra. De forma contrária, o orçamento do projeto de estruturas de concreto armado moldado no local apresenta maior parte de seu custo atrelado aos materiais, em torno de 64% do valor final, além de uma parcela considerável dos gastos com mão de obra, pouco mais de 22%. O fato de haver um gasto extremamente maior com materiais e mão de obra torna a execução de estruturas de concreto armado moldadas *in loco* muito mais suscetível a gastos adicionais, como tempo ocioso dos funcionários e desperdício de materiais, sendo esses custos previstos, em parte, nas composições de custo, o que eleva o valor orçado para esse tipo de sistema estrutural. Outro ponto relevante diz respeito ao grande gasto com as formas na estrutura moldada no local. Por ser um edifício pequeno e com poucas repetições de peças, o número de reutilizações das formas

é reduzido, o que encarece o serviço. Para as formas dos pilares, por exemplo, foi considerada apenas 6 repetições de uso de suas formas, o que tornou o preço unitário do serviço de montagem e desmontagem mais oneroso em aproximadamente 15%, se comparado com uma composição para utilização das formas por 8 vezes. Para as vigas do pavimento superior e da cobertura, de forma semelhante, a composição caracterizada por 6 repetições apresentou um preço unitário em torno de 10% superior do que seria para 8 utilizações. A representividade desses serviços para o custo total pode ser constatada através da análise da curva ABC do orçamento para projeto da estrutura de concreto moldado *in loco*. Tomando como exemplo o custo da mão de obra dos carpinteiros juntamente com os encargos complementares, temos aproximadamente 13,42% do valor total orçado com essa única destinação. Realizando uma análise semelhante para o projeto de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, é possível atestar o que foi afirmado anterior, ou seja, aproximadamente 80% do custo do projeto estão relacionados com o fornecimento e montagem dos elementos pré-fabricados, com parcelas extremamente pequenas voltadas para mão de obras, materiais e equipamentos.

A curva ABC do projeto de estruturas moldadas no local e a do projeto de estruturas pré-fabricadas pode ser vistas nos gráficos 06 e 07, respectivamente, enquanto os detalhes acerca de cada insumo e composição auxiliar se encontram no anexo I.

Gráfico 06 – Curva ABC do projeto estrutural para concreto moldado no local

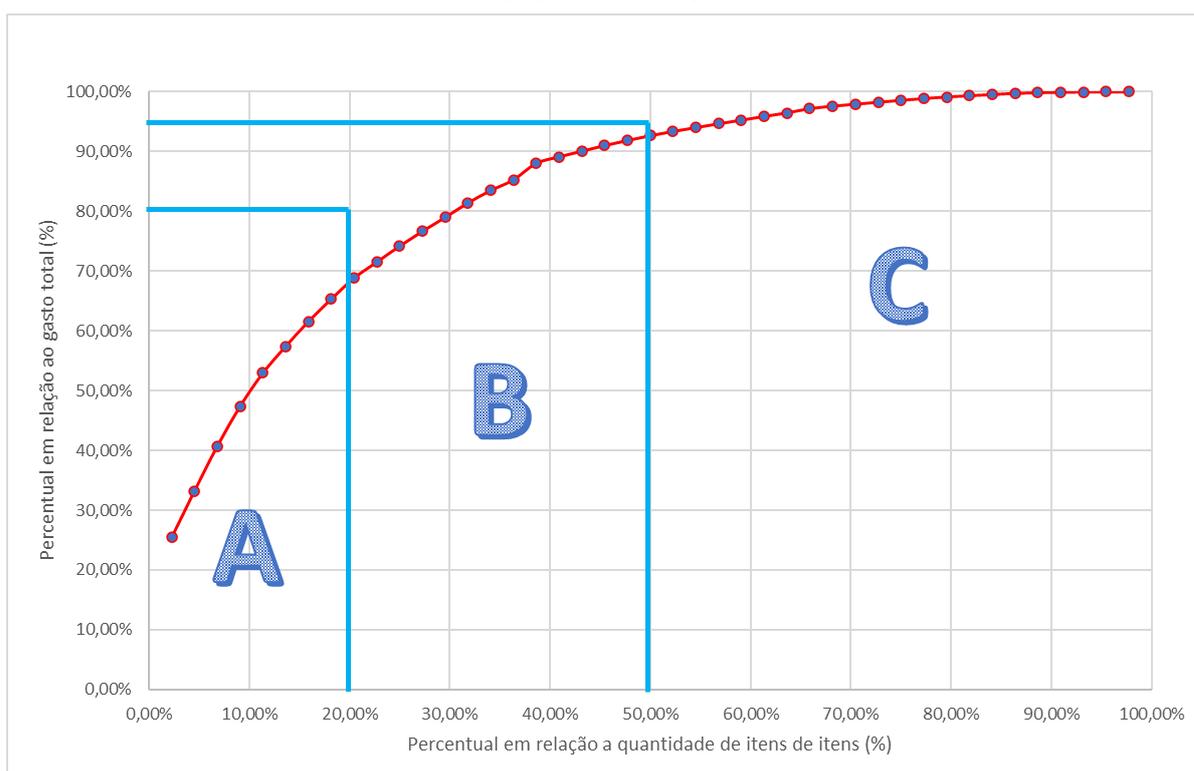
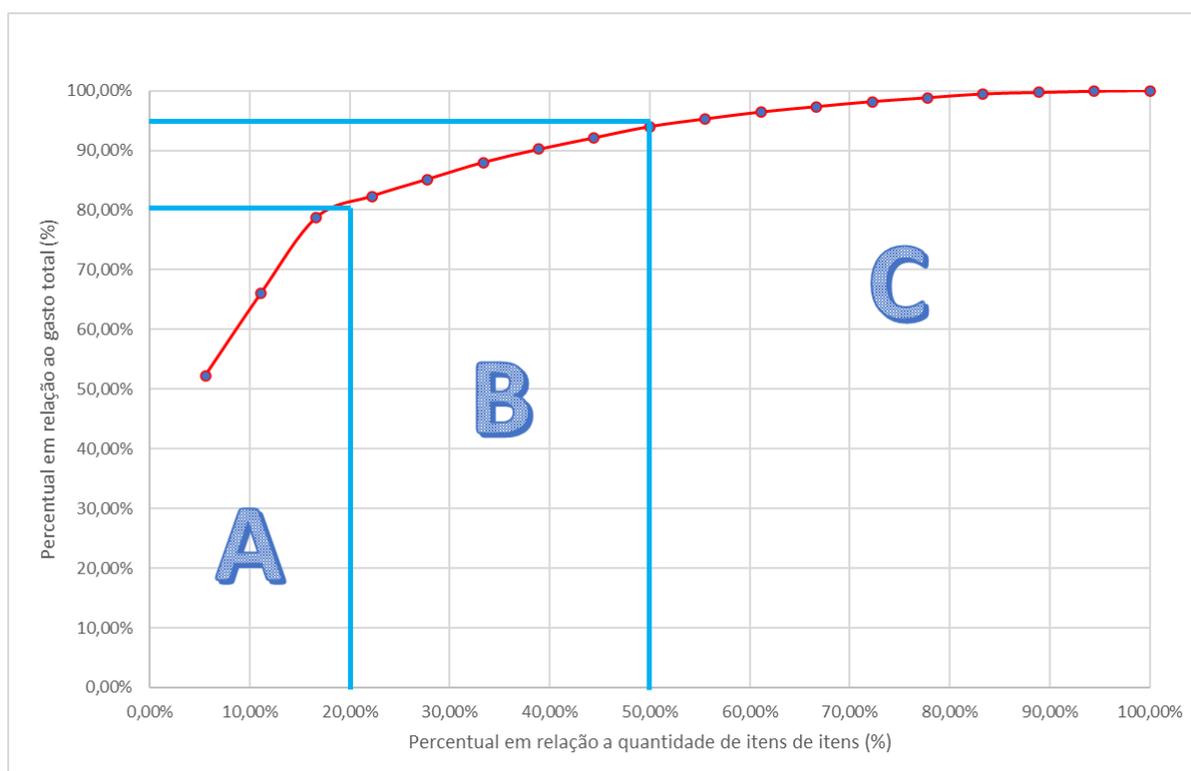


Gráfico 07 – Curva ABC do projeto estrutural para concreto armado pré-fabricado



Tomando como base o custo unitário básico (CUB) da cidade de João Pessoa, para edificações padrão normal e do tipo R1 (unifamiliar) o valor por metro quadrado de construção é R\$ 1.846,12, ou seja, para o edifício estudado há uma estimativa básica de custo de R\$ 295.748,42, e fazendo uso de parâmetros disponibilizados por Mattos (2006), que enquadram a superestrutura de um edifício de múltiplos pavimentos sem elevador como responsável por uma parte entre 26,5% e 33,1% do valor total de uma obra, a estimativa de custo para a superestrutura do presente projeto seria em torno de R\$ 70.423,25 e R\$ 97.892,63. Esse intervalo de valores, no entanto, tende a ser maior que o calculado, visto que houve uma recente alta de preços do aço e do concreto, aumentando ainda mais a parcela da superestrutura sobre o custo total da obra. Dessa forma, sem deixar de levar em consideração que o presente projeto não envolveu elementos estruturais de escada e de reservatório, pode-se concluir que a estrutura pré-fabricada de concreto armado se apresenta como uma boa solução quando comparada com as estimativas realizadas utilizando indicadores de custo.

Buscando enxergar outros cenários, as vantagens oferecidas aos projetistas e construtores se dão pelos motivos citados no parágrafo anterior, que tratam das adversidades oferecidas pelo concreto armado moldado no local, e vão de encontro aos benefícios de concreto armado produzido industrialmente. O fato de grande parte dos processos serem realizados sob

responsabilidade de outrem resulta em uma menor quantidade de gastos imprevistos e que impactam no desempenho financeiro de uma obra, visto que a superestrutura apresenta um gasto representativo de orçamentos de construções de edifícios. Até mesmo durante as atividades realizadas no local da obra, tais custos imprevistos se apresentam em menor escala, visto que para os serviços de montagem geralmente são realizados por trabalhadores especializados, o que qualifica o processo e gera menos gastos excedentes. Todavia, a escolha por estruturas de concreto armado pré-fabricadas também pode apresentar desvantagens. Como no presente caso, uma arquitetura que não permita uma estrutura completamente modulada e que implique em vãos não tão grandes pode encarecer os processos produtivos, devido a especificidade dos elementos, sendo esse um fato que possa gerar custos que excedam a estimativa realizada pelo orçamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizado o estudo e realizada a comparação de custos entre os projetos de estruturas de concreto armado moldado *in loco* e estruturas de concreto armado pré-fabricadas, é possível inferir que é viável a construção do edifício residencial em questão fazendo uso de elementos de concreto armado pré-fabricadas, em que pese possíveis fatores imprevistos pelo seu orçamento que possam elevar os gastos totais do serviço. Tal constatação se justifica pelo fato de as estruturas pré-fabricadas de concreto armado apresentarem um custo total em seu orçamento de R\$ 93.123,24, enquanto as estruturas de concreto armado moldado no local totalizaram R\$ 99.991,79, resultando em uma diferença de R\$ 6.868,56, ou seja, aproximadamente 7%. A discrepância encontrada no orçamento para ambos os casos se explica, em parte, pela grande quantidade de imprevistos passíveis de acontecer na execução de concreto armado moldado no local, imprevistos esses que acabam por elevar os preços unitários das composições como forma de tentar aproximar a estimativa do gasto real. É um exemplo típico a grande quantidade de material desperdiçada durante os processos de produção de armação, confecção de formas e concretagem. Outra reflexão relevante faz menção ao gasto representativo das formas para concreto armado moldado *in loco*, o que vai de encontro com arquiteturas de edificações residenciais, que, de uma forma geral, não proporcionam grandes reaproveitamentos e elevam de forma considerável os gastos finais.

No tocante à execução dos projetos, a arquitetura trabalhada proporcionou situações e problemas que dificultaram o processo, sobretudo para as estruturas pré-fabricadas de concreto armado, resultando em soluções que tornam o caso estudado muito particular. Junto a isso, as limitações presentes na avaliação gratuita do software utilizado também geraram influências, desde a escolha de um projeto de arquitetura com porte reduzido até a utilização de artifícios menos eficientes na disposição da estrutura pré-fabricada. De igual relevância, durante o desenvolvimento dos orçamentos, em sua maior parte, foi possível a utilização de composições de custo referenciadas por bancos de dados renomados que se encaixassem nas características dos projetos, exceto em casos excepcionais onde foram realizadas adaptações para tornar o levantamento de custos mais precisos.

Portanto, diante do exposto, torna-se coerente a conclusão de que a utilização de estruturas pré-fabricadas de concreto armado para edificações residenciais se apresenta viável, oferecendo ganho econômico e outras vantagens, como menor tempo de execução e peças

sujeitas a um melhor controle de qualidade devido à produção fabril. Não obstante aos benefícios inferidos desse tipo de método construtivo, deve-se levar em consideração as especificidades do presente caso e as possíveis variáveis não contempladas pelo orçamento. Assim, para cada projeto é importante a realização de análises profundas sobre as particularidades que o contemplam, de modo a reduzir fatores não esperados durante o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. 4. ed. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2. ed. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3. ed. Rio de Janeiro, 2017.

ArcelorMittal. **Vergalhão ArcelorMittal CA 50 S - Soldável**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pre-moldados-e-pre-fabricados>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCEHTTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 1 v.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar - Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CYPE Engenheiros, S.A. **Gerador de preços Brasil**. Disponível em: <http://www.brasil.geradordeprecos.info>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

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

ELLIOTT, Kim. **Precast Concrete Structures**. CRC Press, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html>. Acesso em: 30 maio 2022.

LOCKE SOLUTIONS. **What are the most common problems with precast concrete?** Disponível em: <https://lockesolutions.com/common-problems-with-precast>. Acesso em: 30 maio 2022.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**. São Paulo: Pini, 2006.

NADAL, Carlos Aurélio. **Tipos de vigas**. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/aula-03-tipos-de-vigas.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.

Neville, Adam Matthew. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

Orçamento de Obras de Sergipe. **Pesquisa de serviços**. Disponível em: <http://orse.cehop.se.gov.br/servicos.asp>. Acesso em: 30 maio 2022.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Estruturas de aço, concreto e madeira: Atendimento da expectativa dimensional**. 4. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2010.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE JOÃO PESSOA. **Custos Unitários Básicos da Construção**. João Pessoa: 2022.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Caderno técnico de composições para pré-moldados**. 3. ed. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Referências de preços e custos.** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 30 maio 2022.

TEATINI, João Carlos. **Estruturas de Concreto Armado:** Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

TQS. **TQS Avaliação Gratuita.** Disponível em: <https://www.tqs.com.br/systems/tqs-avaliacao-gratuita/a3jl66mpqc>. Acesso em: 30 maio 2022.

VAN ACKER, Arnold; FERREIRA, Marcelo de Araújo. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** 2002.

ANEXO A – TOLERÂNCIAS PARA ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS

Quadro 10 – Tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados

Item	Seção ou dimensão		Tolerância
Pilares, vigas, pórticos e elementos lineares	Comprimento	$L \leq 5m$	$\pm 10mm$
		$5m \leq L \leq 10m$	$\pm 15mm$
		$L > 10m$	$\pm 20mm$
	Seção transversal		- 5mm e + 10mm
	Distorção		$\pm 5mm$
	Linearidade		$\pm L/1000$
Painéis, lajes, escadas e elementos em placas	Comprimento	$L \leq 5m$	$\pm 10mm$
		$5m \leq L \leq 10m$	$\pm 15mm$
		$L > 10m$	$\pm 20mm$
	Espessura		- 5mm e + 10mm
	Planicidade	$L \leq 5m$	+ 3mm
		$L > 5m$	$\pm L/1000$
	Distorção	Largura ou altura $\leq 1m$	$\pm 3mm$ a cada 30cm
Largura ou altura $> 1m$		$\pm 10mm$	
	Linearidade		$\pm L/1000$
Telhas e/ou elementos delgados	Comprimento	$L \leq 5m$	$\pm 10mm$
		$5m \leq L \leq 10m$	$\pm 15mm$
		$L > 10m$	$\pm 20mm$
	Espessura	$\phi \leq 50mm$	- 1mm e + 5mm
		$\phi > 50mm$	- 3mm e + 5mm
	Distorção		$\pm 5mm$
	Linearidade		$\pm L/1000$
Estacas	Comprimento		$\pm L/300$
	Seção transversal		$\pm 5\%$
	Espessura da parede para seções vazadas		$\pm 13/- 6mm$
	Linearidade		$\pm L/1000$

Fonte: ABNT, 2017.

ANEXO B – PROJETO ARQUITETÔNICO UTILIZADO NO ESTUDO

Figura 19 - Planta baixa do pavimento térreo

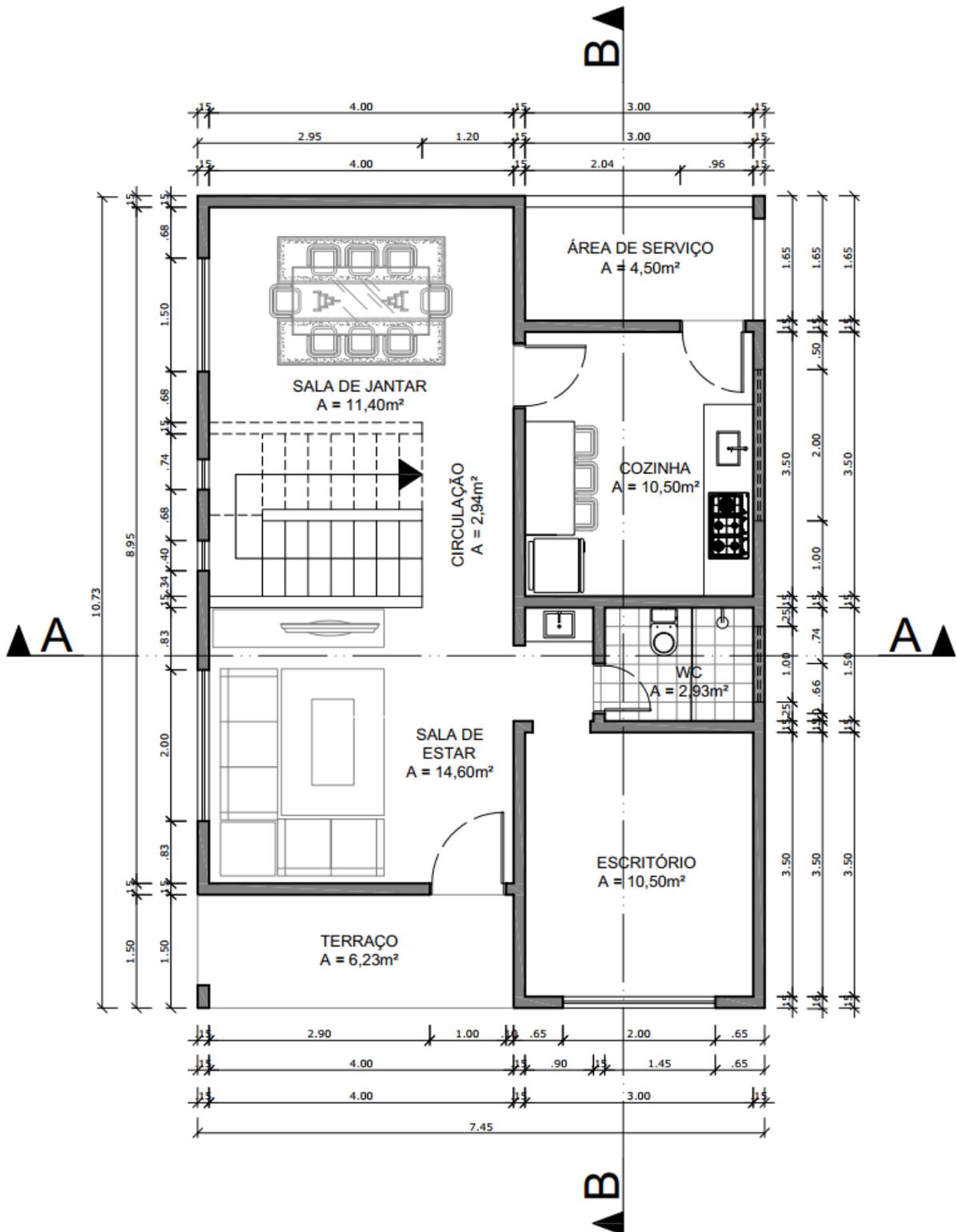


Figura 20 - Planta baixa do pavimento superior

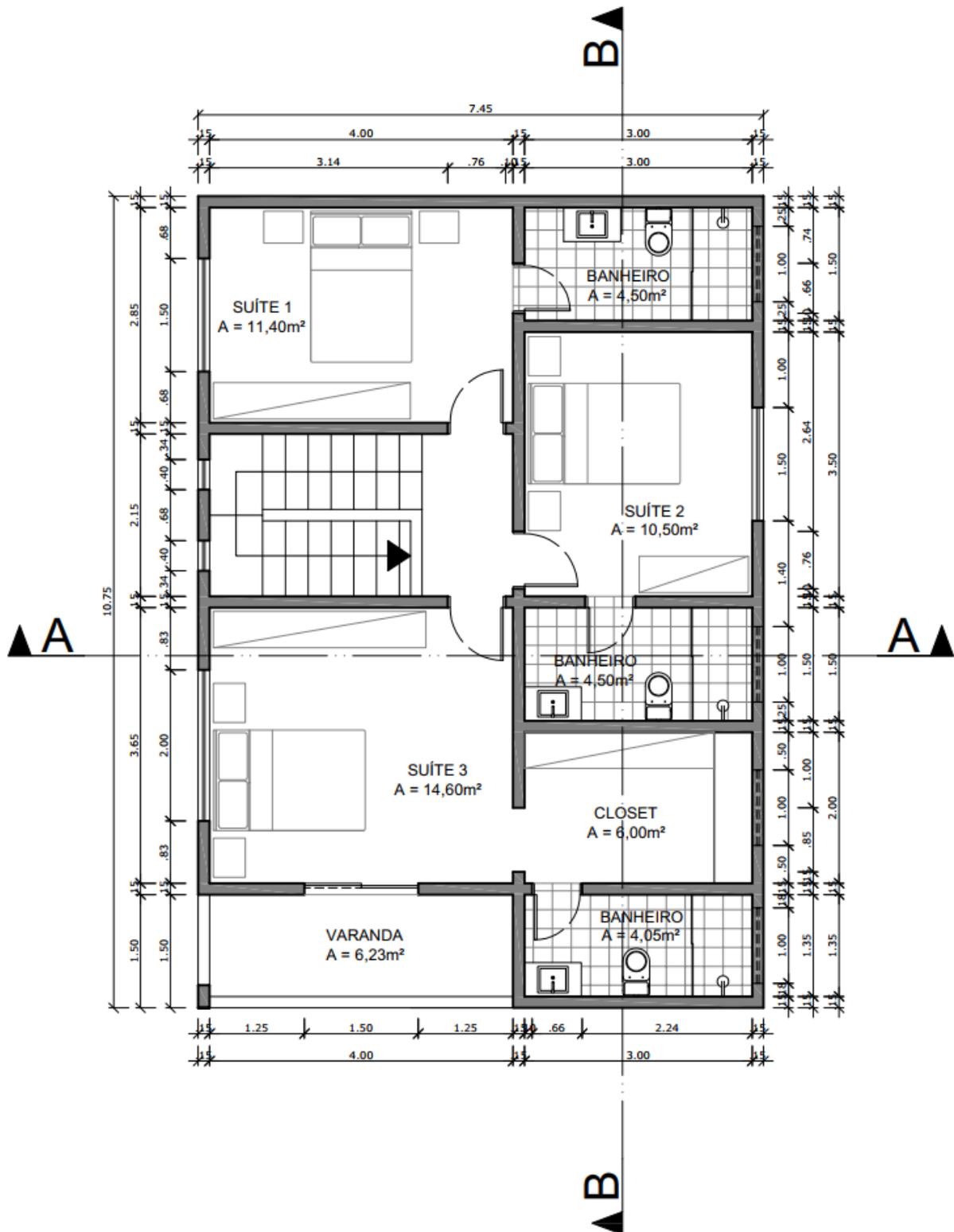


Figura 21 - Corte AA

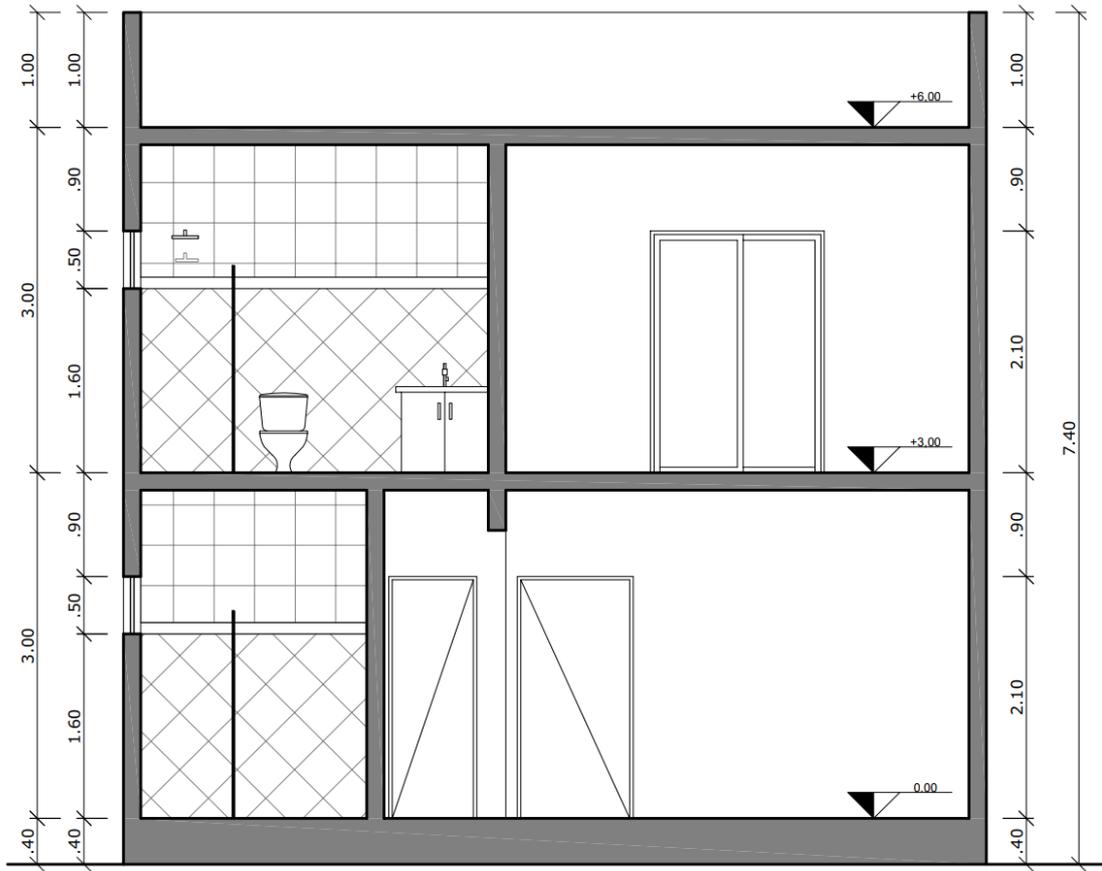
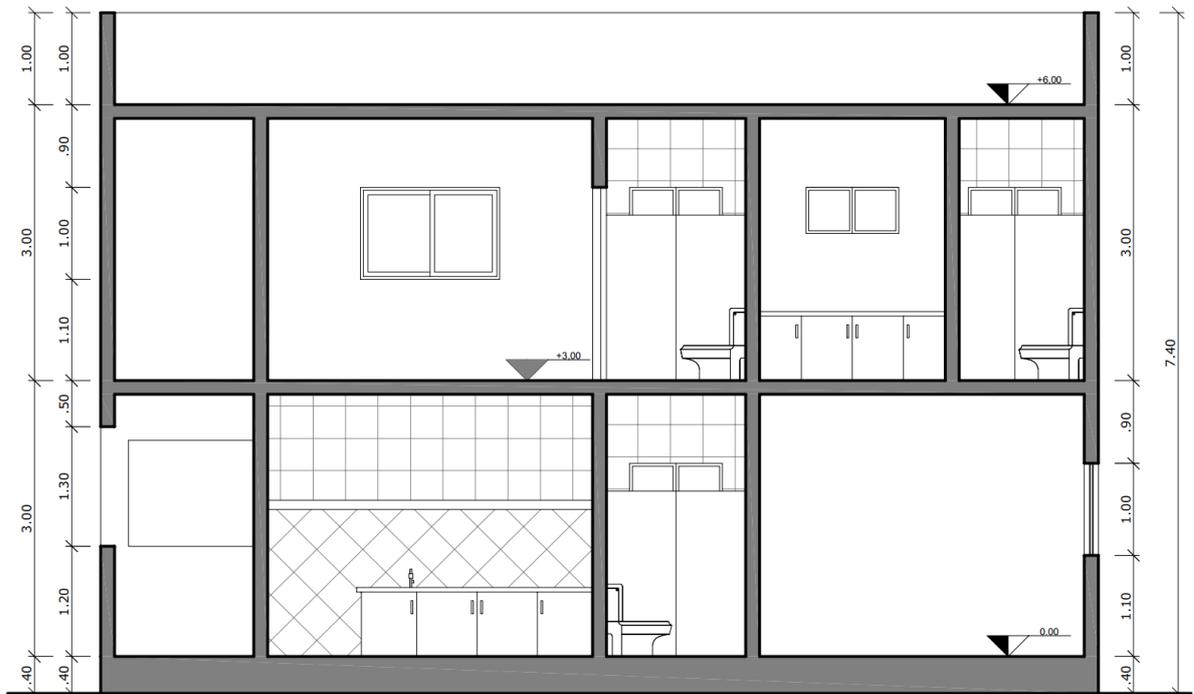


Figura 21 - Corte BB



ANEXO C – PESO ESPECÍFICO DOS MATERIAIS

Quadro 11 – Pesos específicos de materiais diversos

Material	Peso específico aparente (kN/m ³)
Blocos artificiais e piso	Blocos de concreto vazados (função estrutural, classes A e B, ABNT NBR 6136)
	Blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)
	Blocos cerâmicos vazados com paredes maciças (função estrutural, NBR 15270-1)
	Blocos cerâmicos maciços
	Blocos de concreto autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)
	Bloco de vidro
	Blocos sílico-calcáreos
	Lajotas cerâmicas
	Porcelanato
	Terracota
Argamassas e concretos (endurecidos)	Argamassa de cal, cimento e areia
	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento e areia
	Argamassa de gesso
	Argamassa autonivelante
	Concreto simples
	Concreto armado
Metais	Aço
	Alumínio e ligas
	Bronze
	Chumbo
	Cobre
	Ferro forjado
	Ferro fundido
	Latão
Zinco	

Fonte: ABNT, 2019.

ANEXO D – CARGAS USUAIS SOBRE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Quadro 12 – Cargas variáveis sobre edifícios residenciais

Local	Carga distribuída uniformemente (kN/m ²)
Dormitórios	1,5
Sala, copa, cozinha	1,5
Sanitários	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Quadras esportivas	5
Salão de festas, salão de jogos	3
Áreas de uso comum	3
Academia	3
Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1
Sótão	2
Corredores dentro de unidades autônomas	1,5
Corredores de uso comum	3
Depósitos	3

Fonte: ABNT, 2019.

Quadro 13 – Cargas referentes a alvenaria

Alvenaria de vedação	Espessura (cm)	Espessura de revestimento por face (kN/m ²)		
		0 cm	1 cm	2 cm
Bloco de concreto vazado (Classe C – ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
	19	1,8	2,2	2,6
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal – ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3

Alvenaria de vedação	Espessura (cm)	Espessura de revestimento por face (kN/m ²)		
		0 cm	1 cm	2 cm
Bloco de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	7,5	0 cm	1 cm	2 cm
	10	0,6	1,0	1,4
	12,5	0,8	1,2	1,6
	15	0,9	1,3	1,7
	17,5	1,1	1,5	1,9
	20	1,2	1,6	2,0
Bloco de vidro (decorativo, sem resistência ao fogo)	8	0,8	-	-

Fonte: ABNT, 2019.

Quadro 14 – Cargas decorrentes de revestimentos de piso e impermeabilizações

Material	Espessura (cm)	Peso (kN/m ²)
Impermeabilização com manta asfáltica simples	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30cm de altura)	-	0,5
	-	0,15
Revestimento de pisos de edifícios residenciais e comerciais	5	1,0
	7	1,4
impermeabilização em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento	10	1,8
	15	2,7

Fonte: ABNT, 2019.

Quadro 15 – Peso das telhas

Material	Peso na superfície inclinada (kN/m ²)
Telha cerâmica em geral (exceto tipo germânica e colonial)	0,45
Telha cerâmica tipo germânica ou colonial	0,60
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 4mm	0,14
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 5mm	0,16
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 6mm	0,18
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 8mm	0,24
Telha de fibrocimento modulada com espessura 8mm	0,26
Telha de fibrocimento tipo canaleta com espessura 8mm	0,25
Telha de alumínio com espessura 0,6mm	
Telha de alumínio com espessura 0,8mm	0,035
Telha plástica em geral (exceto tipo colonial)	0,05
Telha plástica tipo colonial	0,06

Material	Peso na superfície inclinada (kN/m ²)
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 0,5mm	0,10
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 0,8mm	0,10
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 1,25mm	0,14
Telha de vidro	0,45

Fonte: ABNT, 2019.

Quadro 16 – Peso dos telhados

Composição	Peso na superfície horizontal (kN/m ²)
Com telhas cerâmicas em geral (exceto tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação $\leq 40\%$	0,70
Com telhas cerâmicas (tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação $\leq 40\%$	0,85
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5mm) e estrutura de madeira	0,40
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8mm) e estrutura de metálica de aço	0,30
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8mm) e estrutura de metálica de alumínio	0,20
Com telhas de fibrocimento tipo canaleta (com espessura até 8mm) e estrutura de madeira	0,35

Fonte: ABNT, 2019.

Quadro 17 – Peso dos enchimentos

Composição	Peso específico aparente (kN/m ³)
Entulho de obra, calça	15
Bloco de concreto celular autoclavado	6,5
Argila expandida	5 a 7
Concreto leve (com argila expandida)	17 a 19
Solo	16 a 20
Poliestireno expandido (EPS) de alta densidade	0,3

Fonte: ABNT, 2019.

**ANEXO E – PROJETO ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO ARMADO
MOLDADO NO LOCAL**

Figura 22 - Planta de forma do pavimento térreo da estrutura moldada no local (nível 0,00)

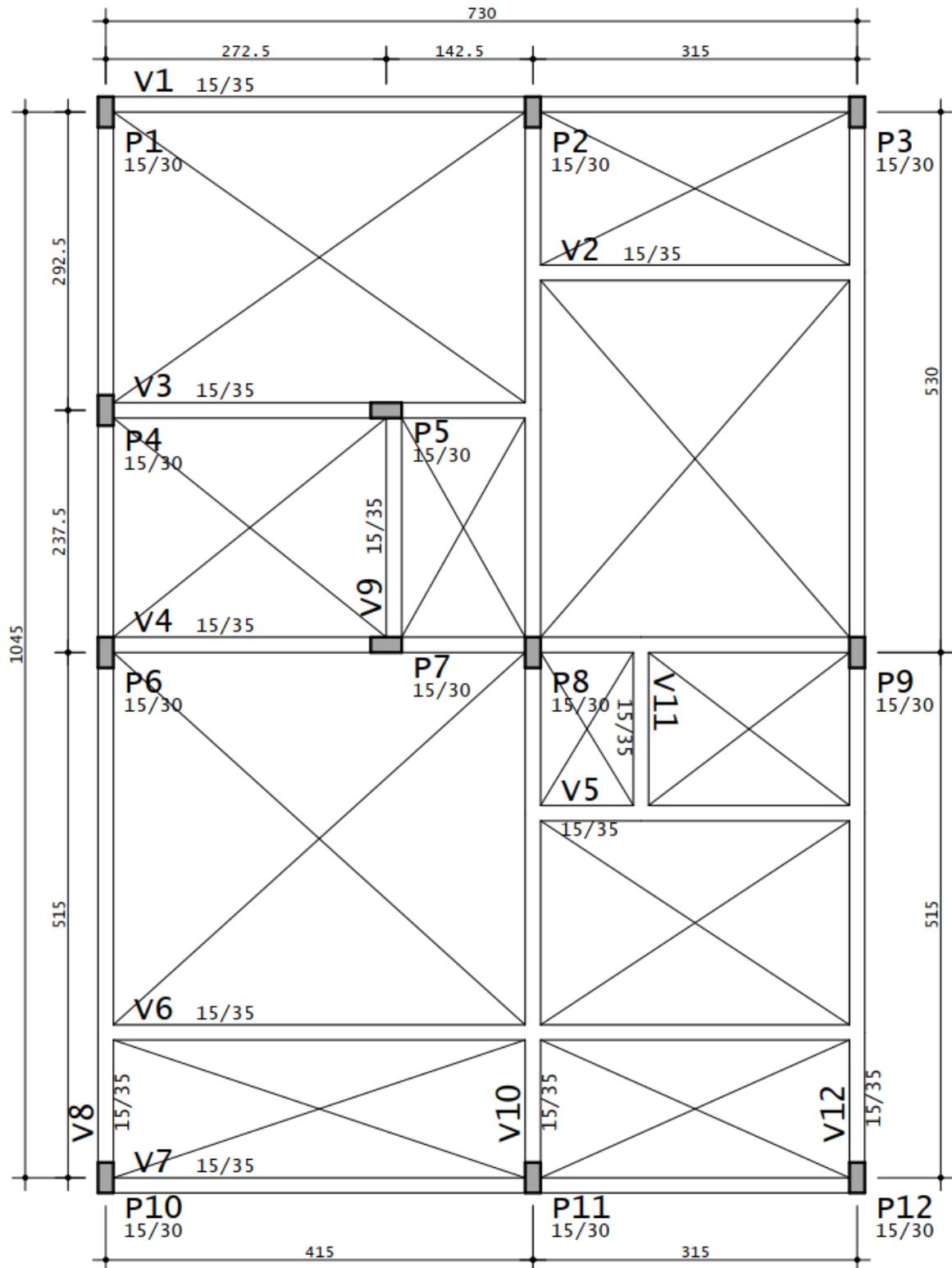


Figura 23 - Planta de forma do pavimento superior da estrutura moldada no local (+3,00)

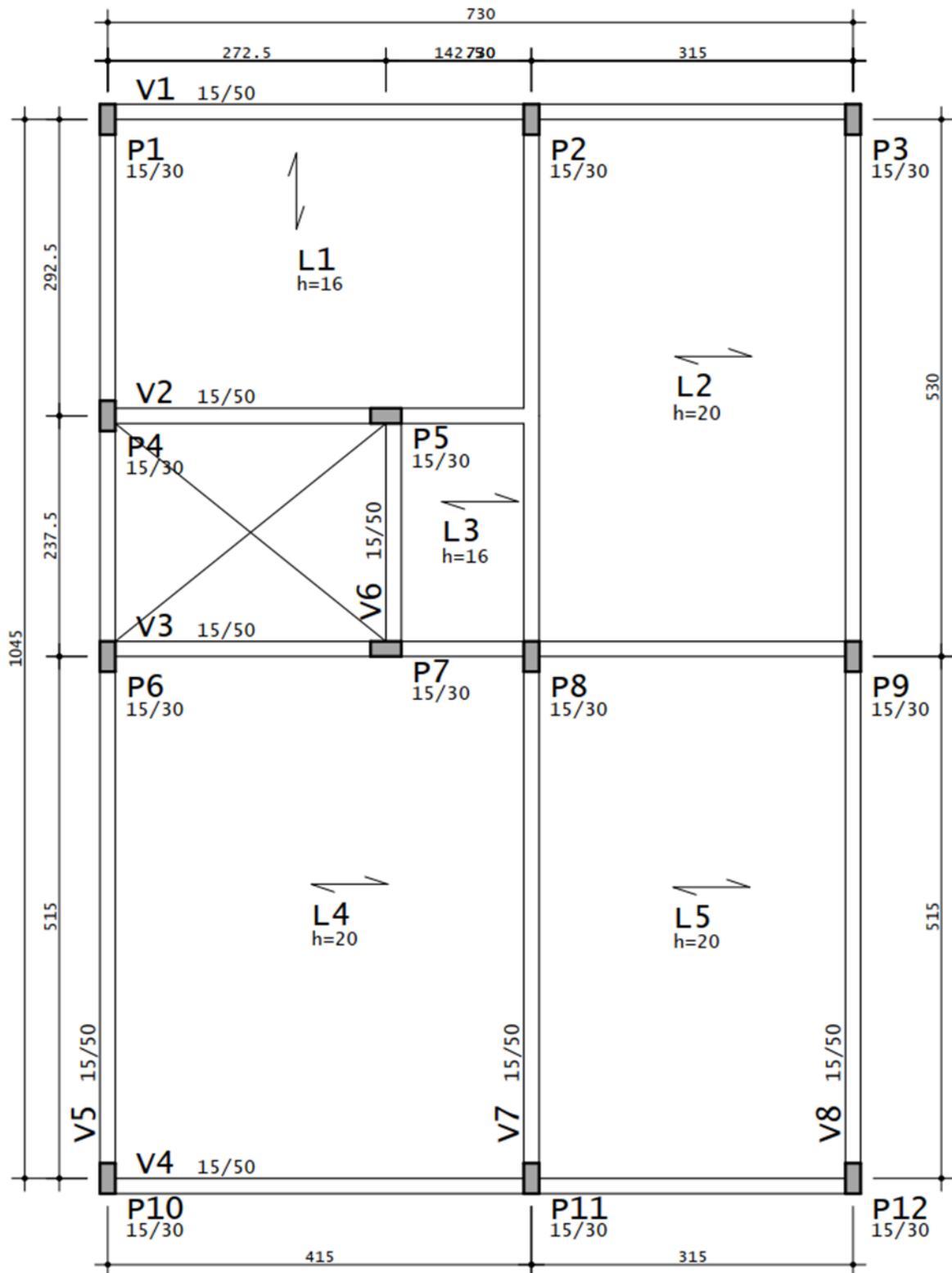


Figura 24 - Planta de forma da cobertura da estrutura moldada no local (nível +6,00)

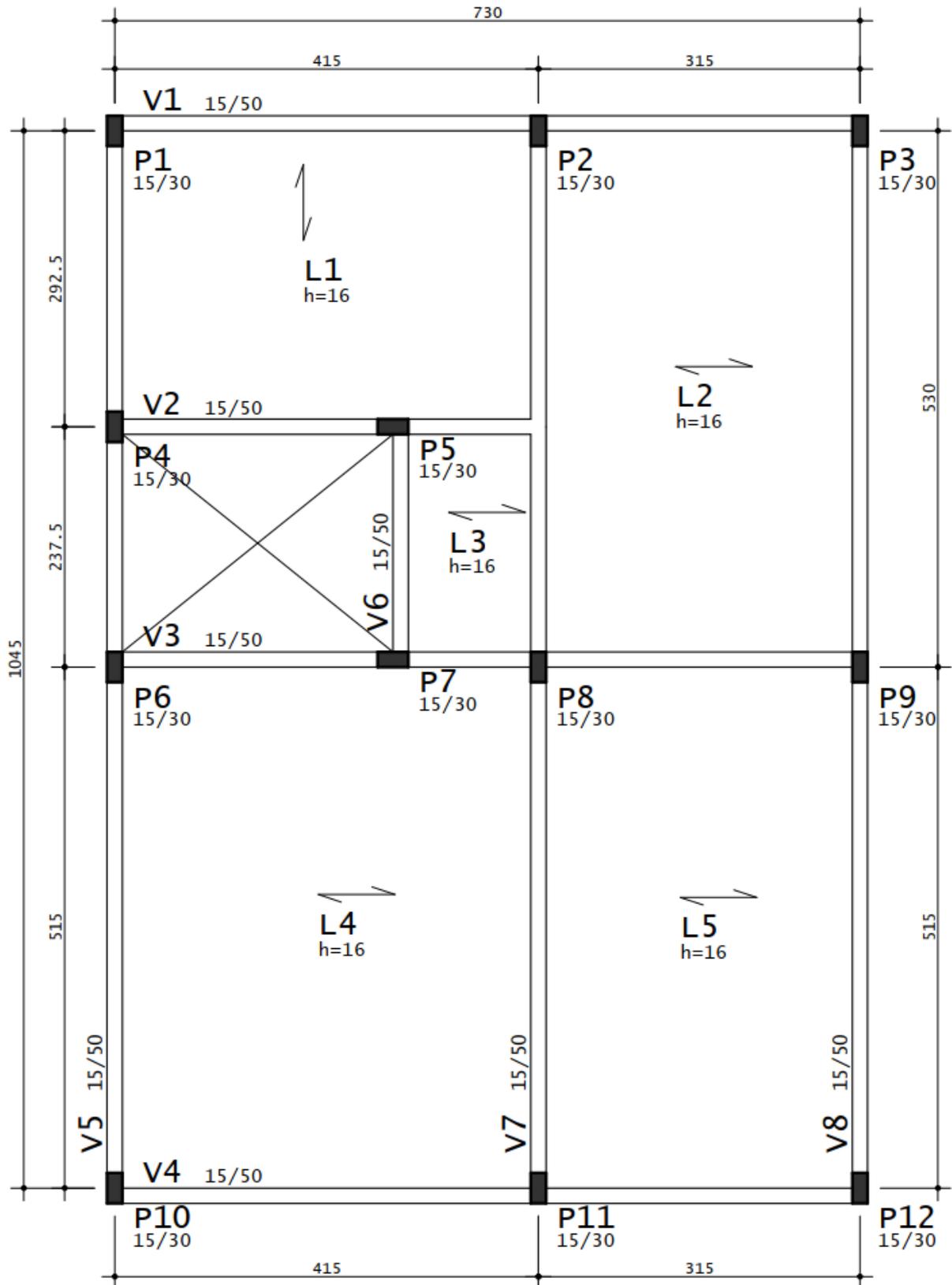


Figura 25 – Detalhe das armaduras dos pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P9, P10 e P12

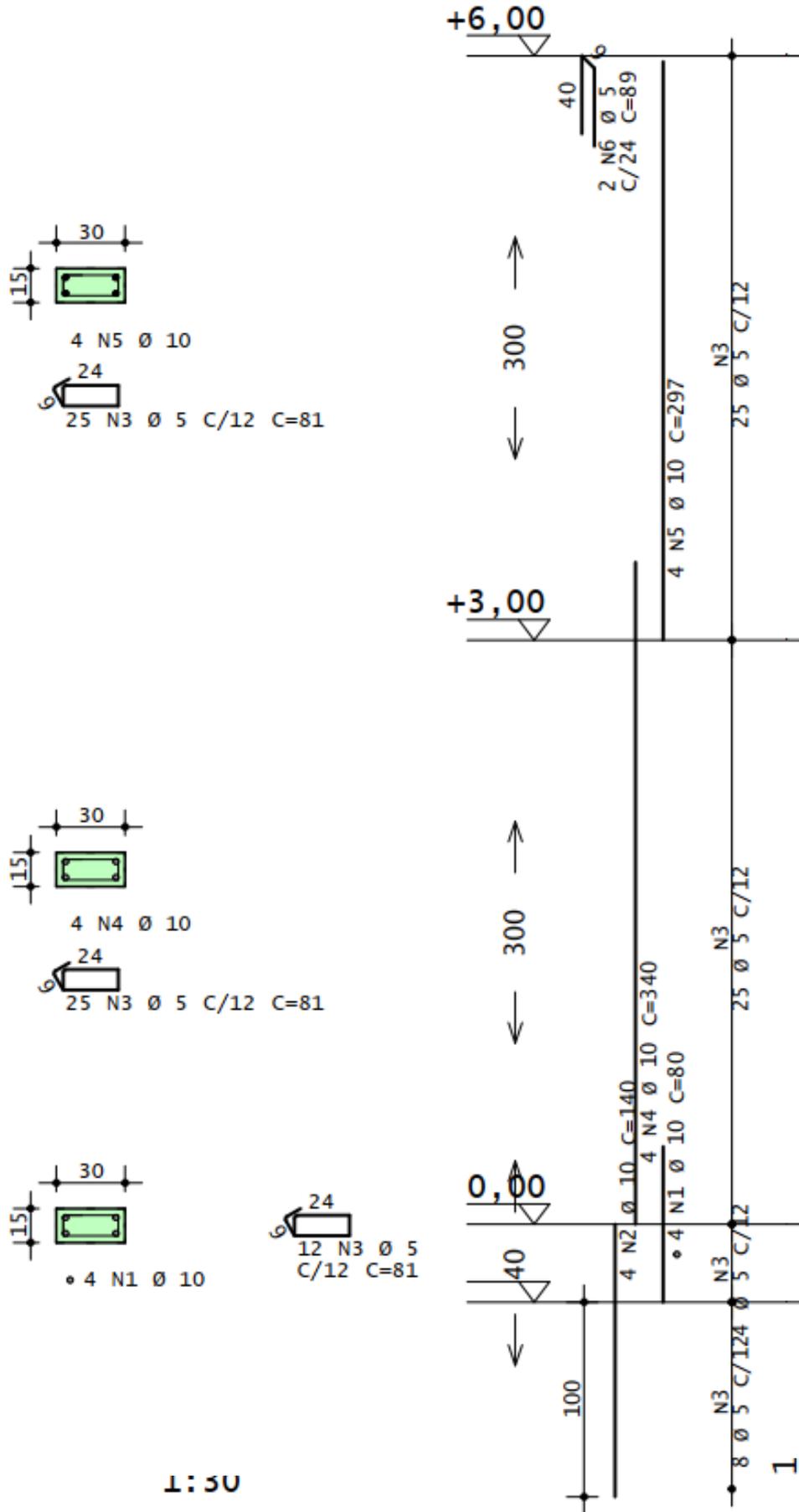


Figura 26 - Detalhe da armadura do pilar P8

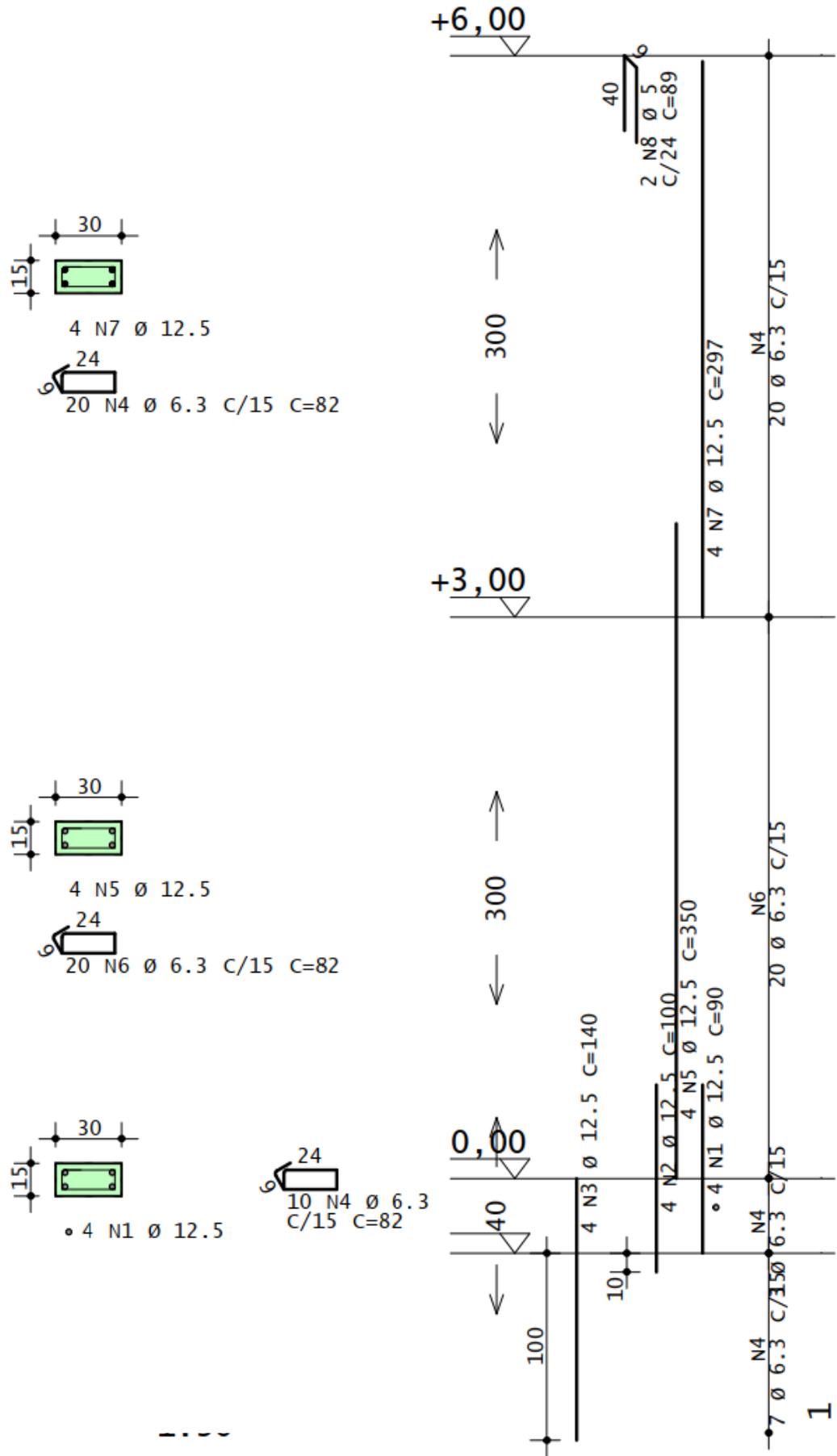
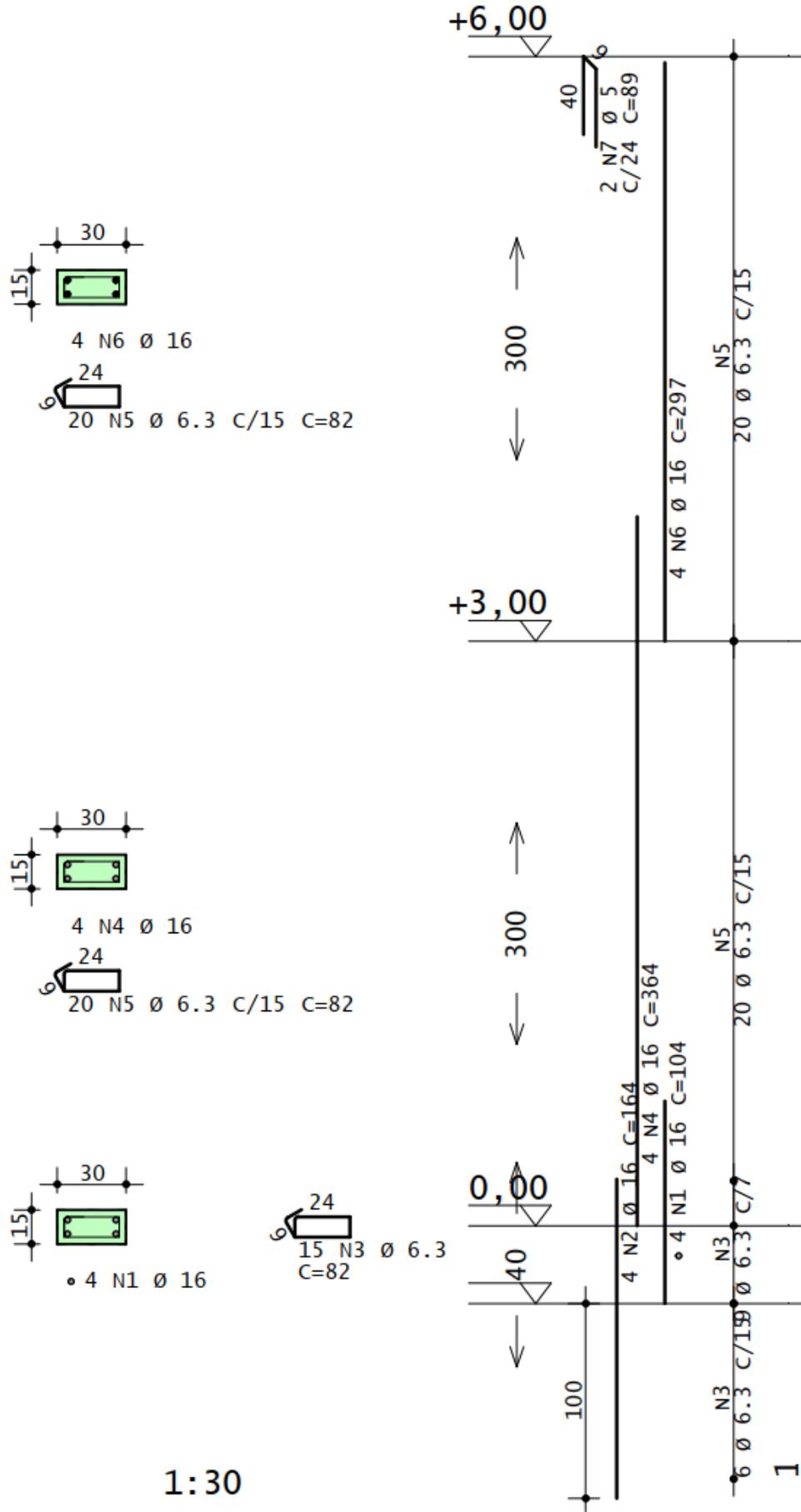


Figura 27 - Detalhe da armadura do pilar P11



1:30

Figura 28 - Armadura da viga baldrame V1 – pavimento térreo (nível 0,00)

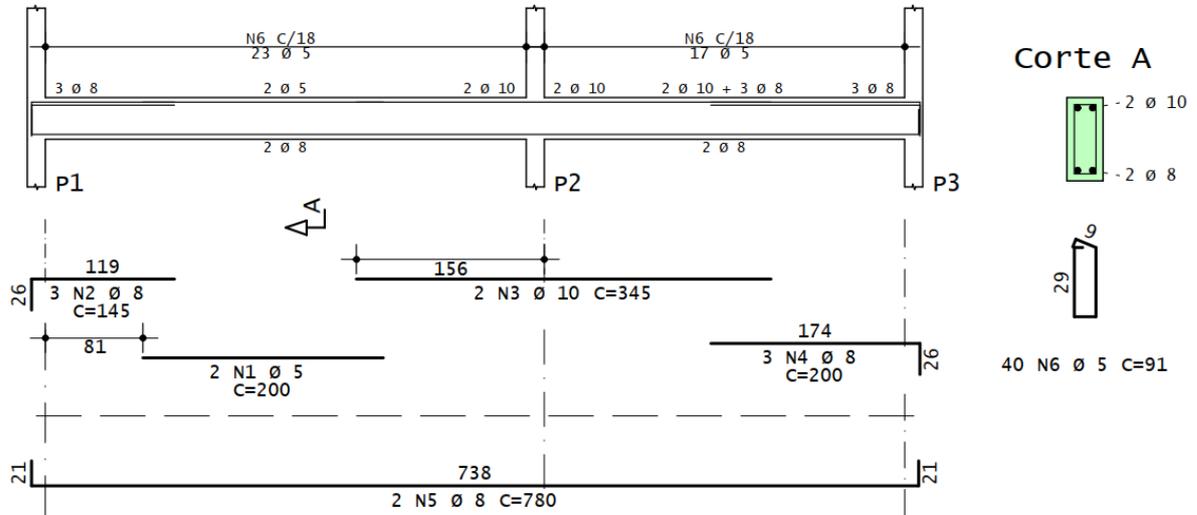


Figura 29 - Armadura da viga baldrame V2 – pavimento térreo (nível 0,00)

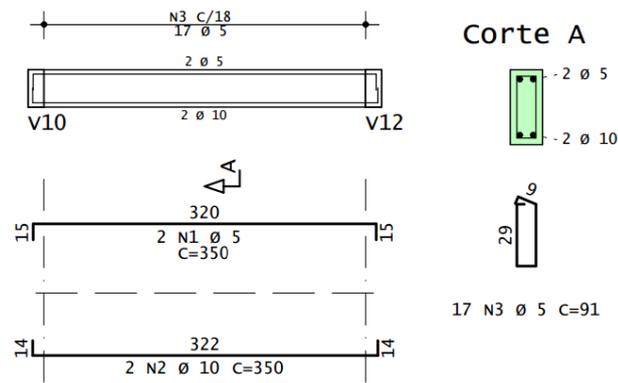


Figura 30 - Armadura da viga baldrame V3 – pavimento térreo (nível 0,00)

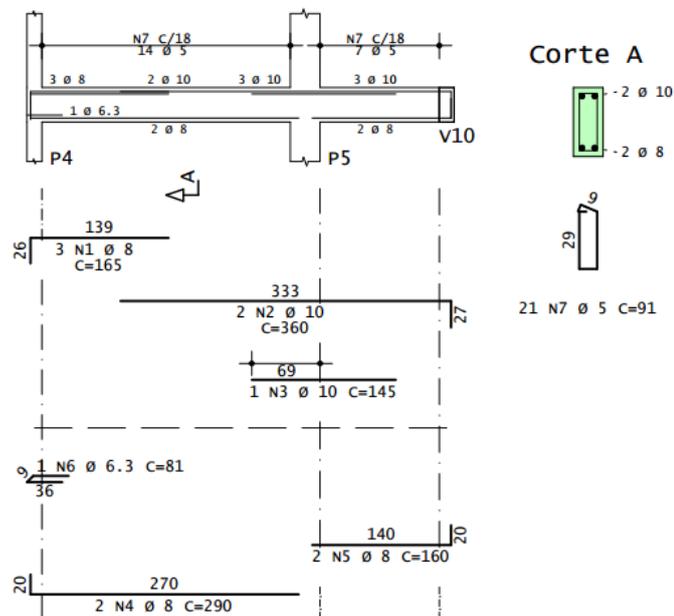


Figura 31 - Armadura da viga baldrame V4 – pavimento térreo (nível 0,00)

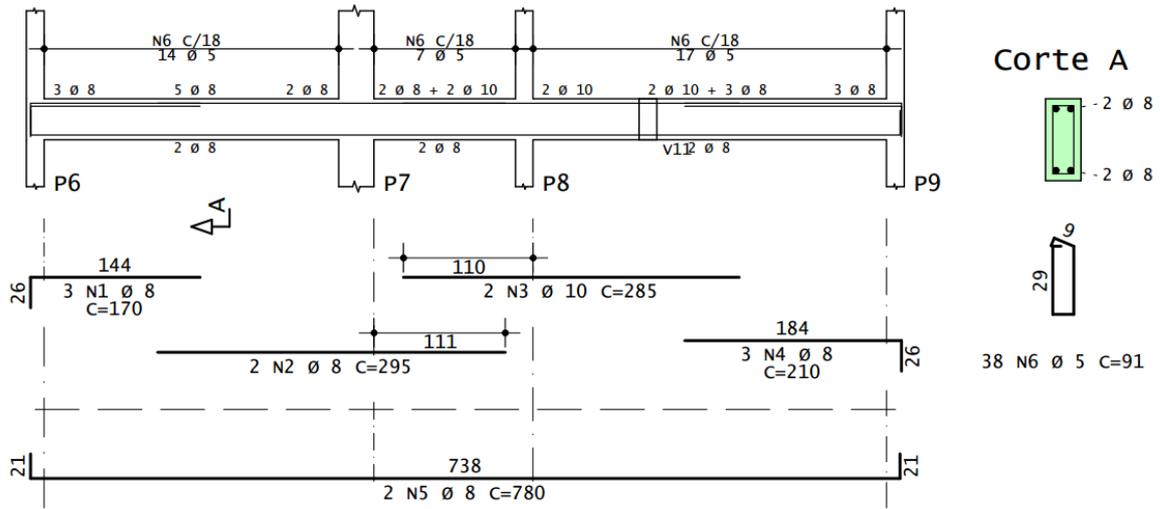


Figura 32 - Armadura da viga baldrame V5 – pavimento térreo (nível 0,00)

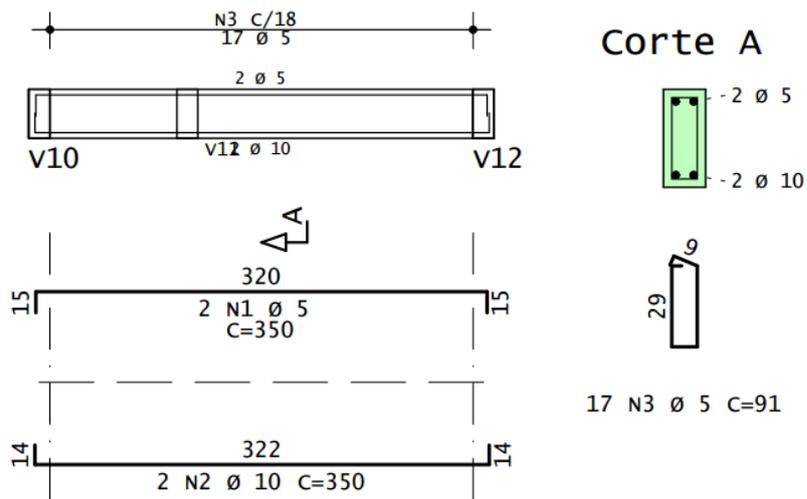


Figura 33 - Armadura da viga baldrame V6 – pavimento térreo (nível 0,00)

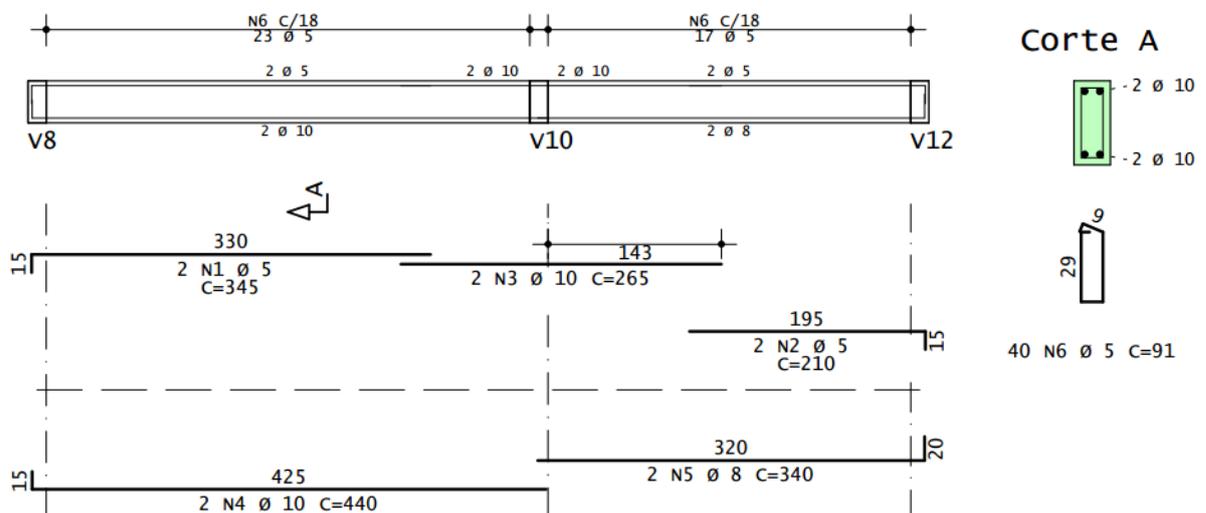


Figura 34 - Armadura da viga baldrame V7 – pavimento térreo (nível 0,00)

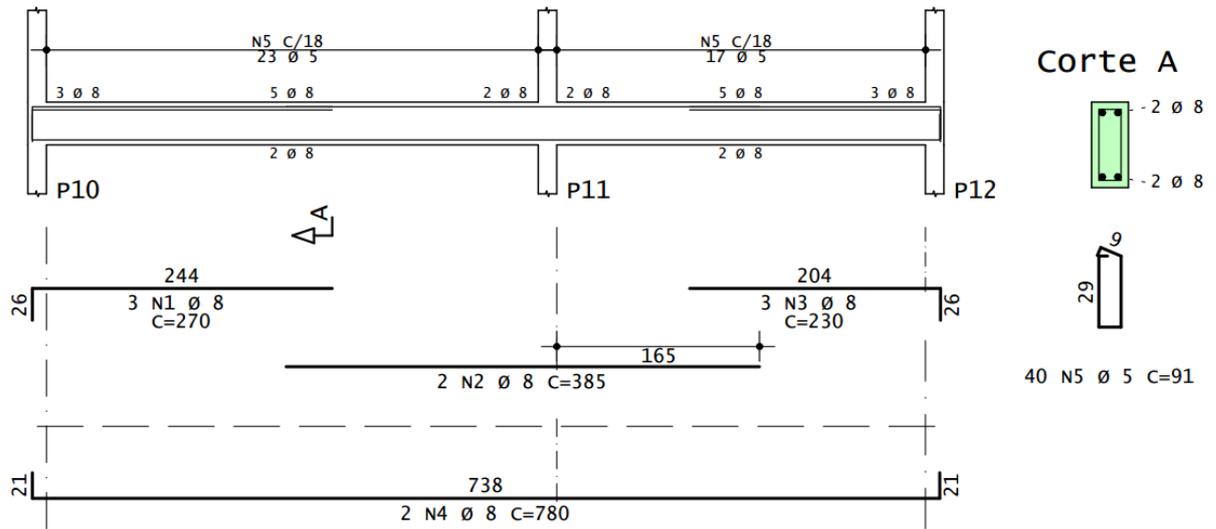


Figura 35 - Armadura da viga baldrame V8 – pavimento térreo (nível 0,00)

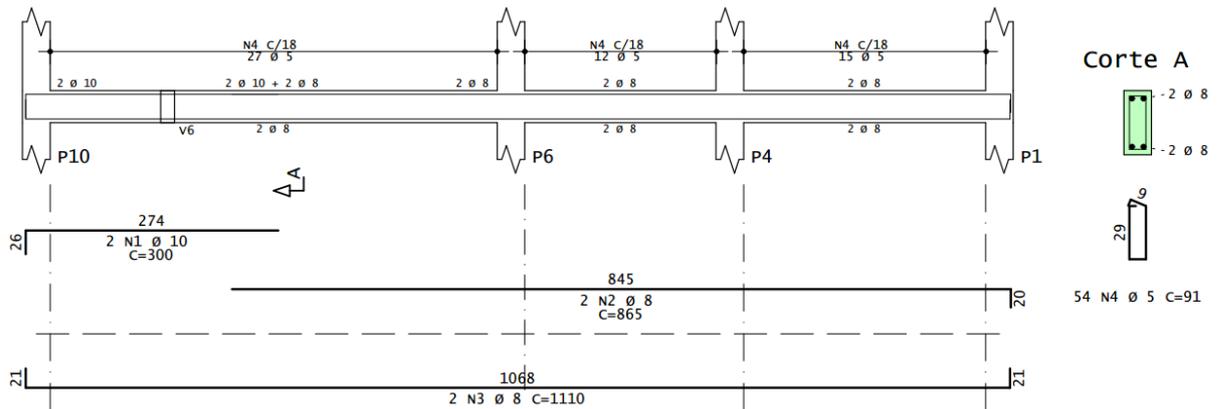


Figura 36 - Armadura da viga baldrame V9 – pavimento térreo (nível 0,00)

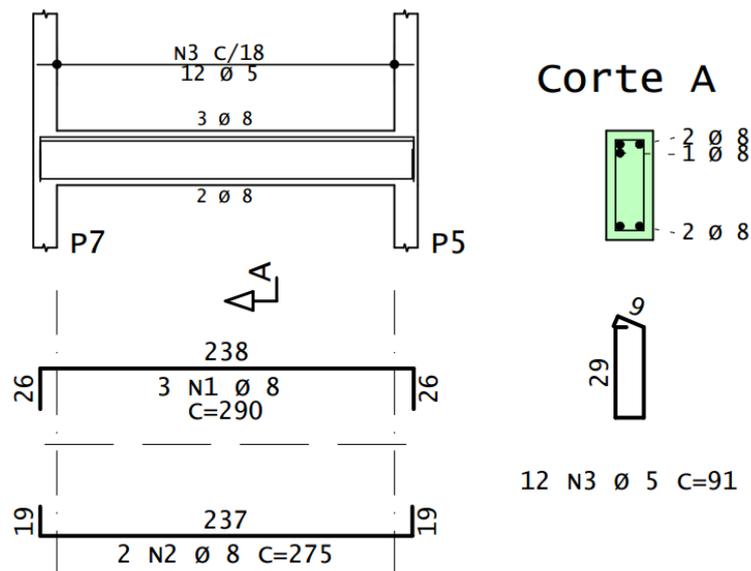


Figura 37 - Armadura da viga baldrame V10 – pavimento térreo (nível 0,00)

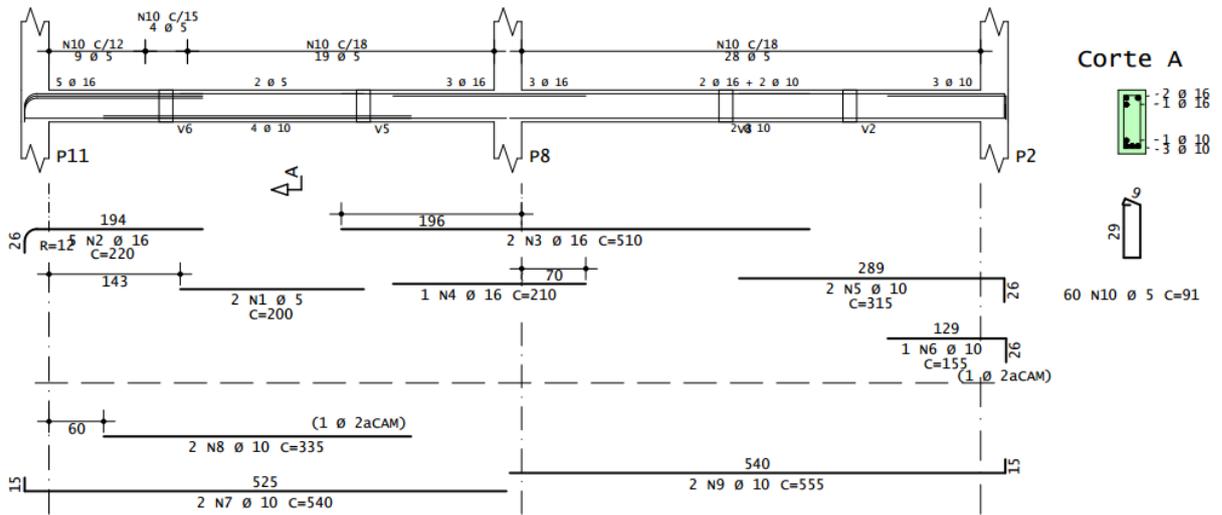


Figura 38 - Armadura da viga baldrame V11 – pavimento térreo (nível 0,00)

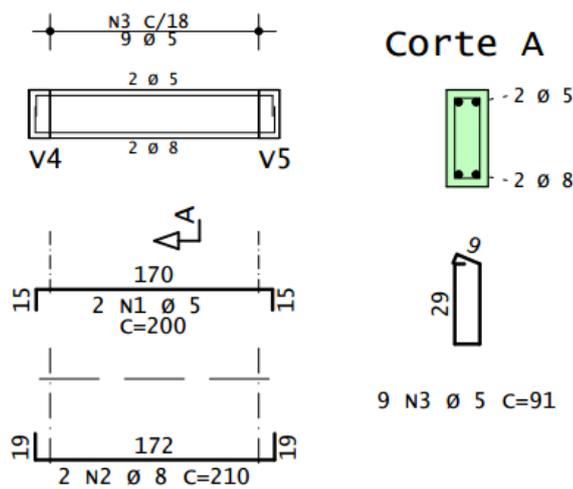


Figura 39 - Armadura da viga baldrame V12 – pavimento térreo (nível 0,00)

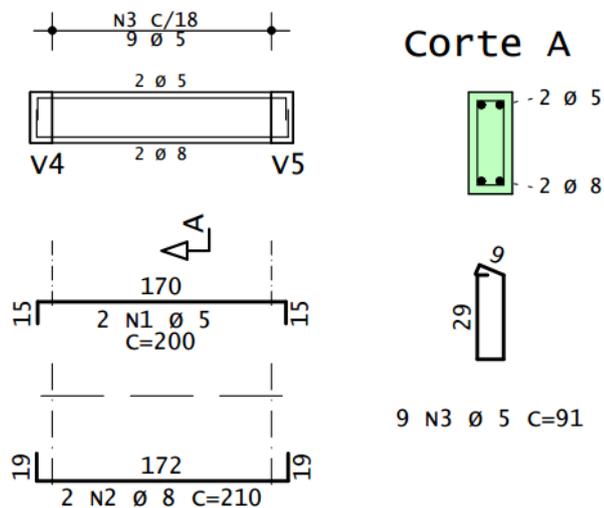


Figura 40 - Armadura da viga V1 – pavimento superior (nível +3,00)

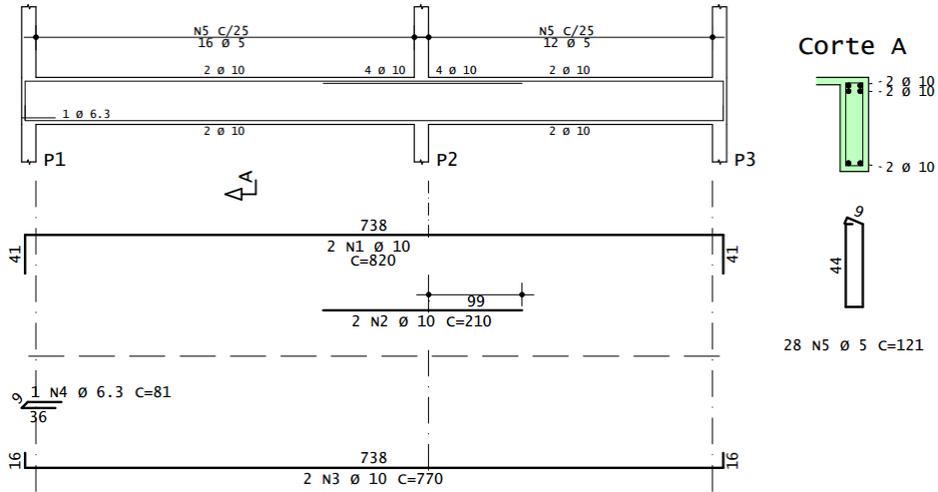


Figura 41 - Armadura da viga V2 – pavimento superior (nível +3,00)

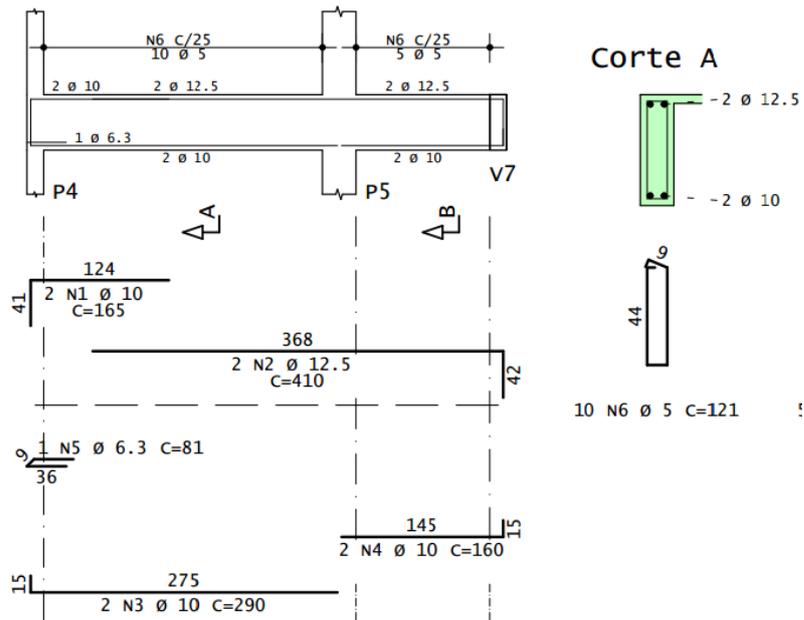


Figura 42 - Armadura da viga V3 – pavimento superior (nível +3,00)

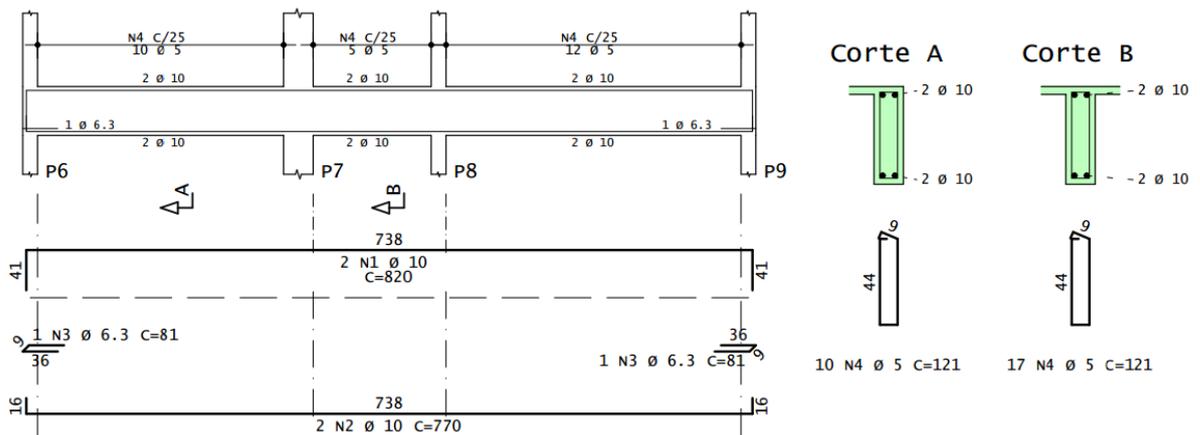


Figura 43 - Armadura da viga V4 – pavimento superior (nível +3,00)

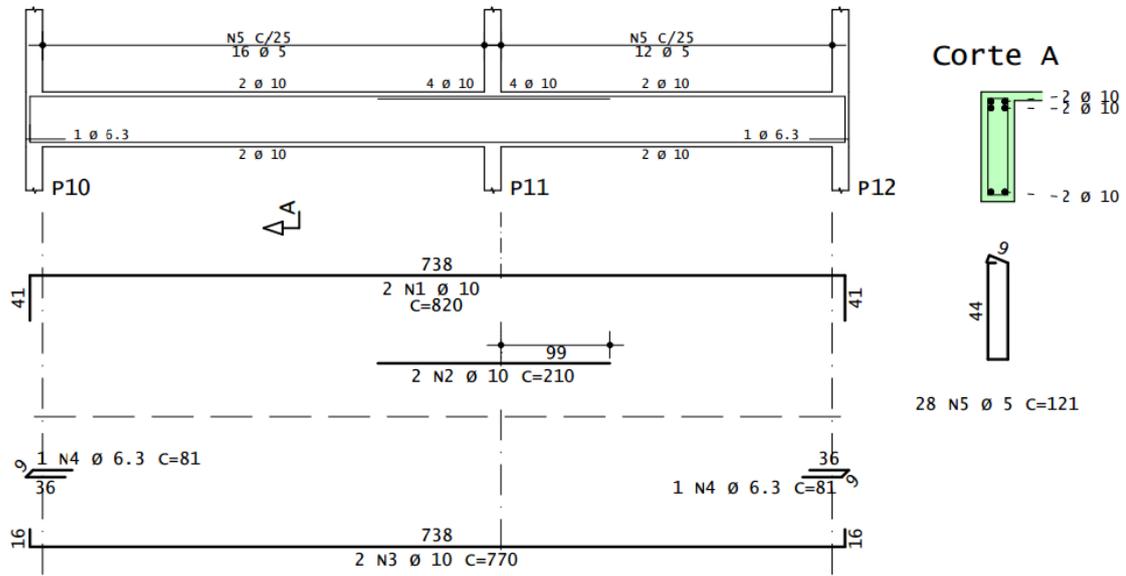


Figura 44 - Armadura da viga V5 – pavimento superior (nível +3,00)

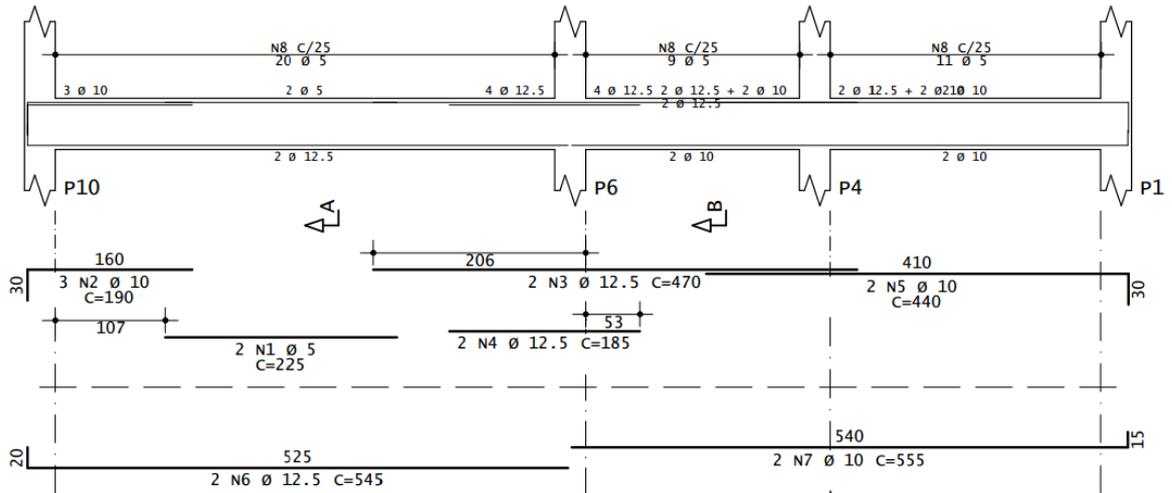


Figura 45 - Armadura da viga V6 – pavimento superior (nível +3,00)

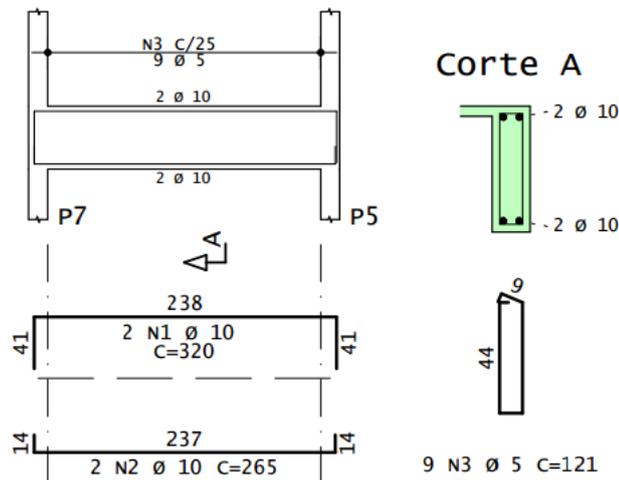


Figura 46 - Armadura da viga V7 – pavimento superior (nível +3,00)

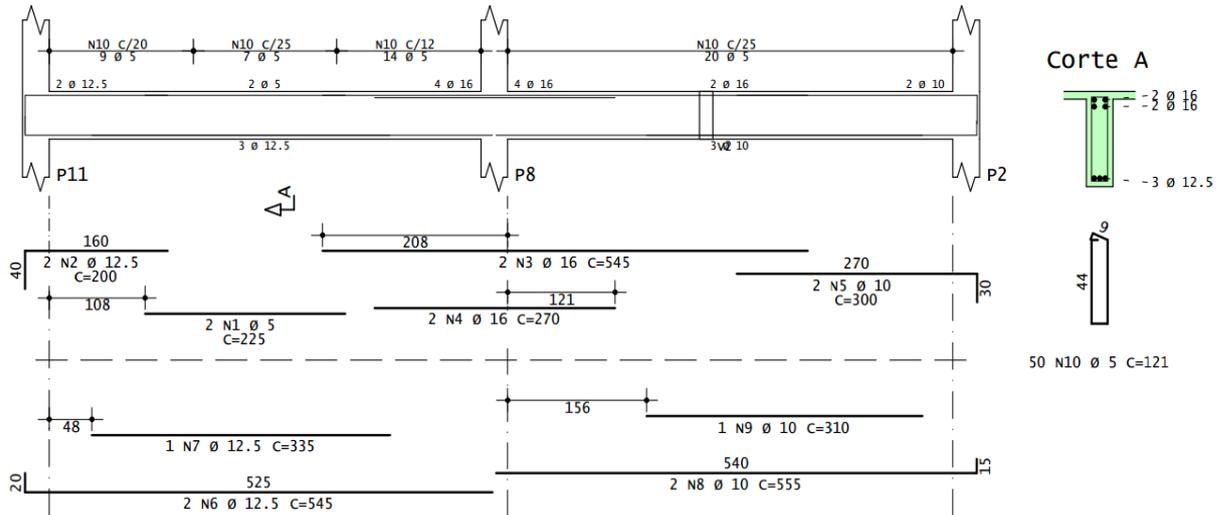


Figura 47 - Armadura da viga V8 – pavimento superior (nível +3,00)

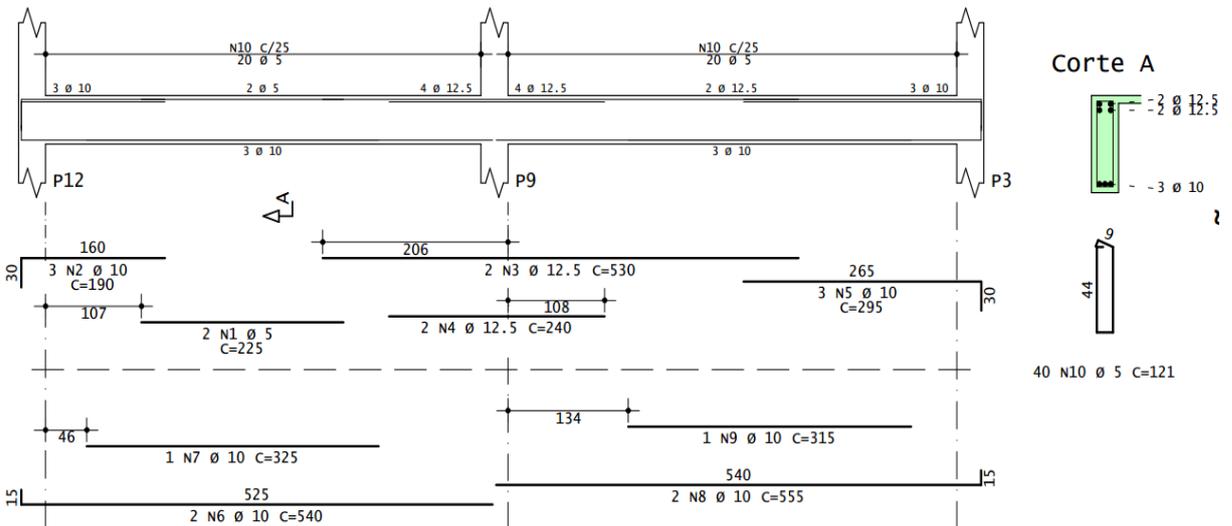


Figura 48 - Armadura da viga V9 – pavimento superior (nível +3,00)

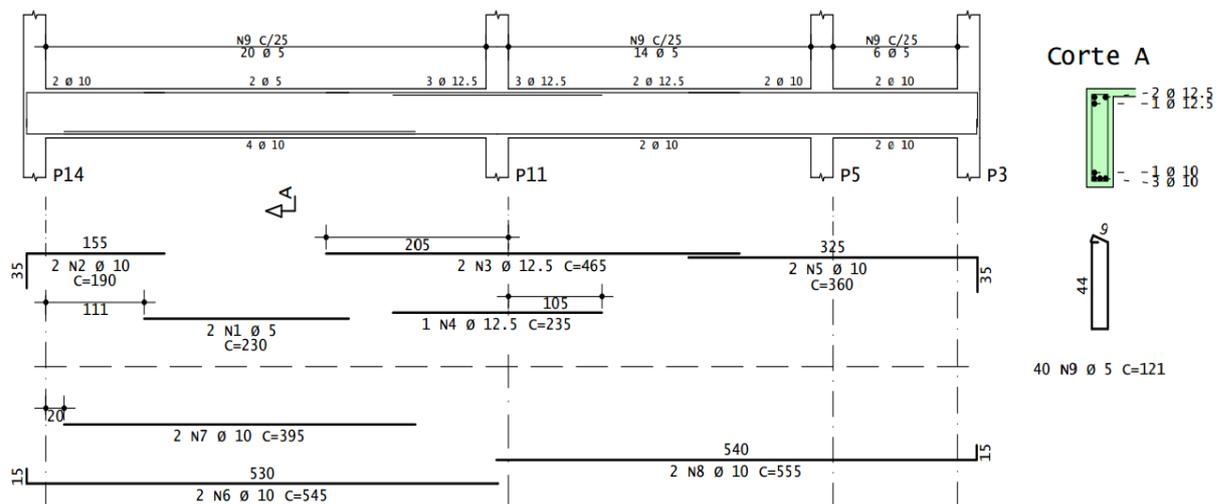


Figura 49 - Armadura da viga V10 – pavimento superior (nível +3,00)

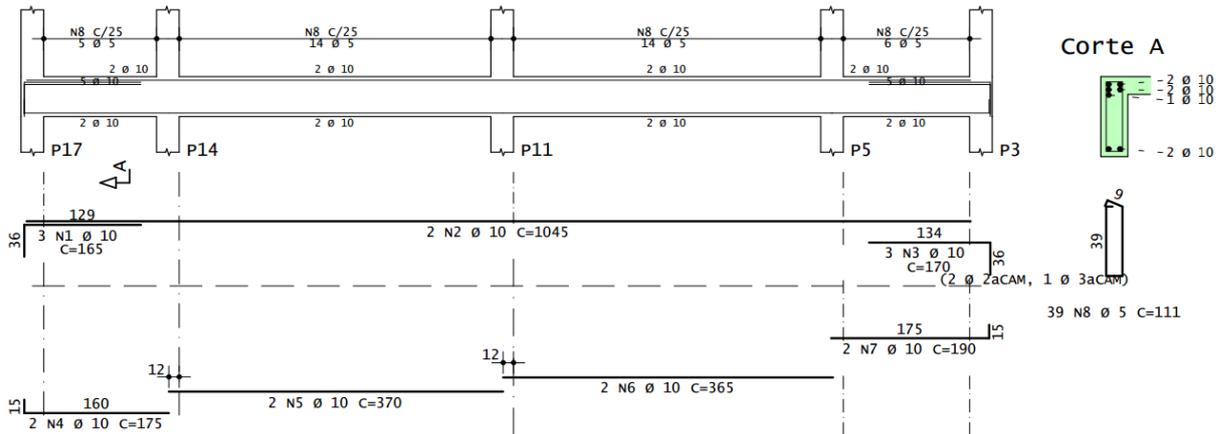


Figura 50 - Armadura da viga V1 – coberta (nível +6,00)

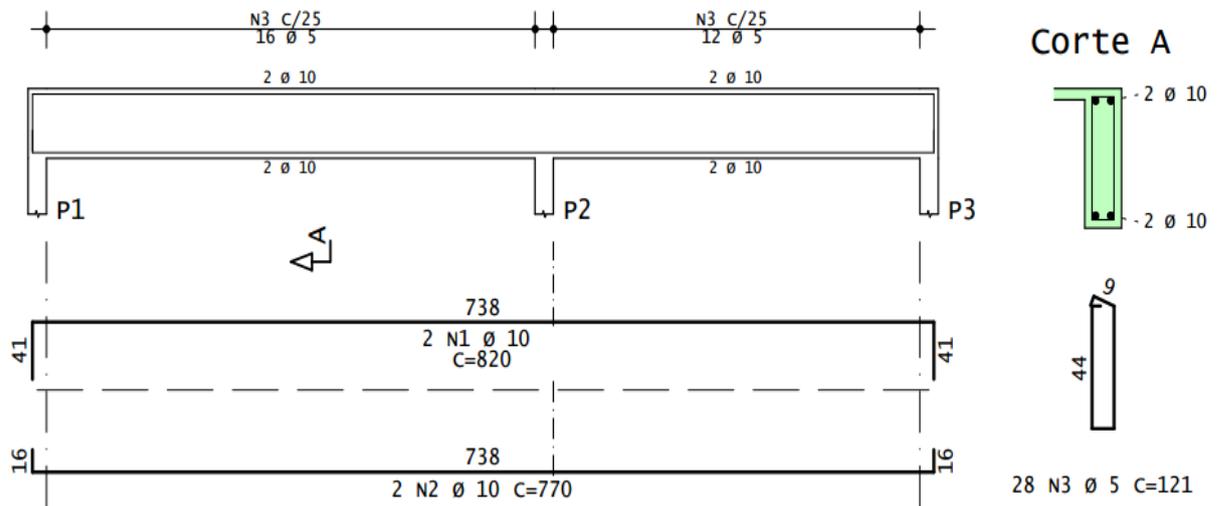


Figura 51 - Armadura da viga V2 – coberta (nível +6,00)

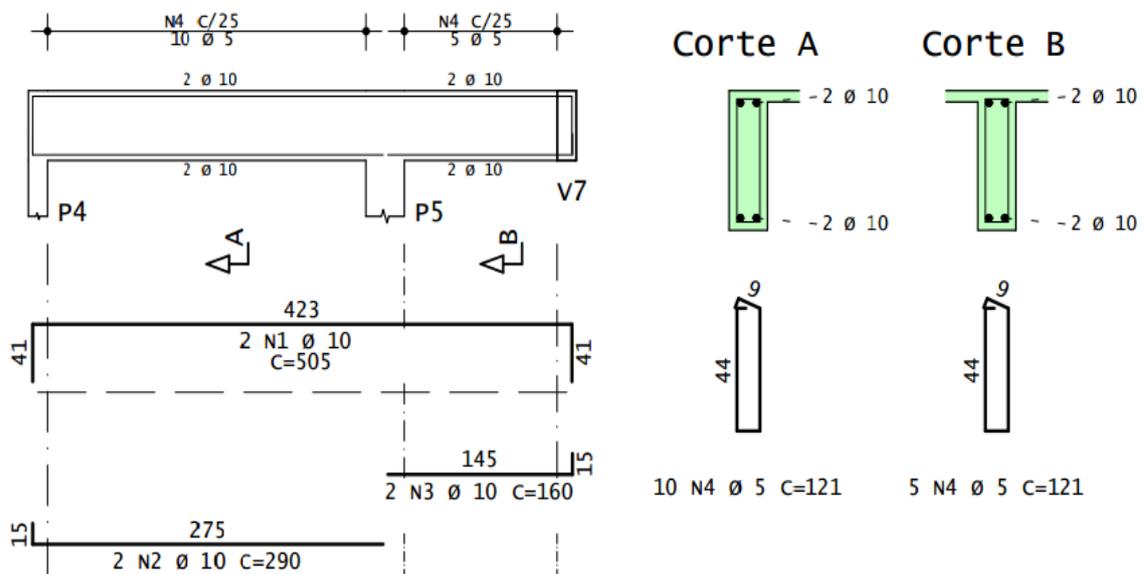


Figura 55 - Armadura da viga V6 – coberta (nível +6,00)

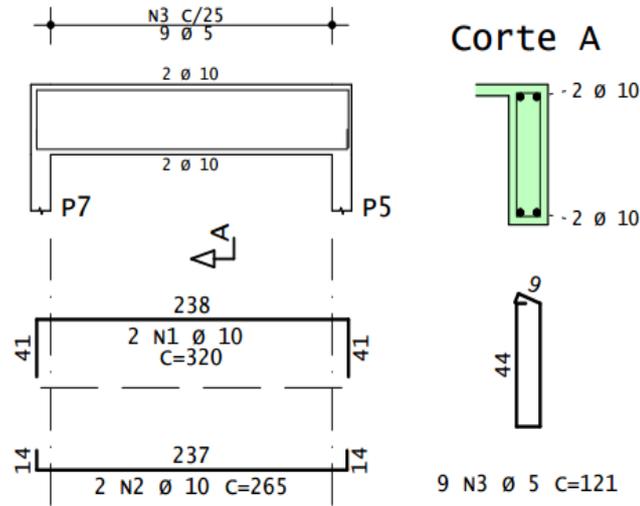


Figura 56 - Armadura da viga V7 – coberta (nível +6,00)

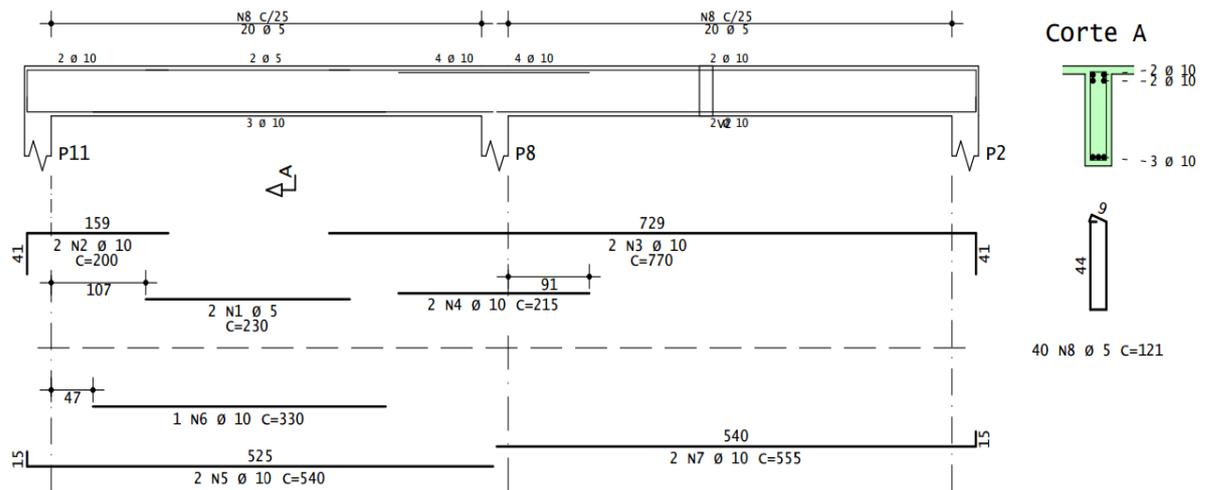


Figura 57 - Armadura da viga V8 – coberta (nível +6,00)

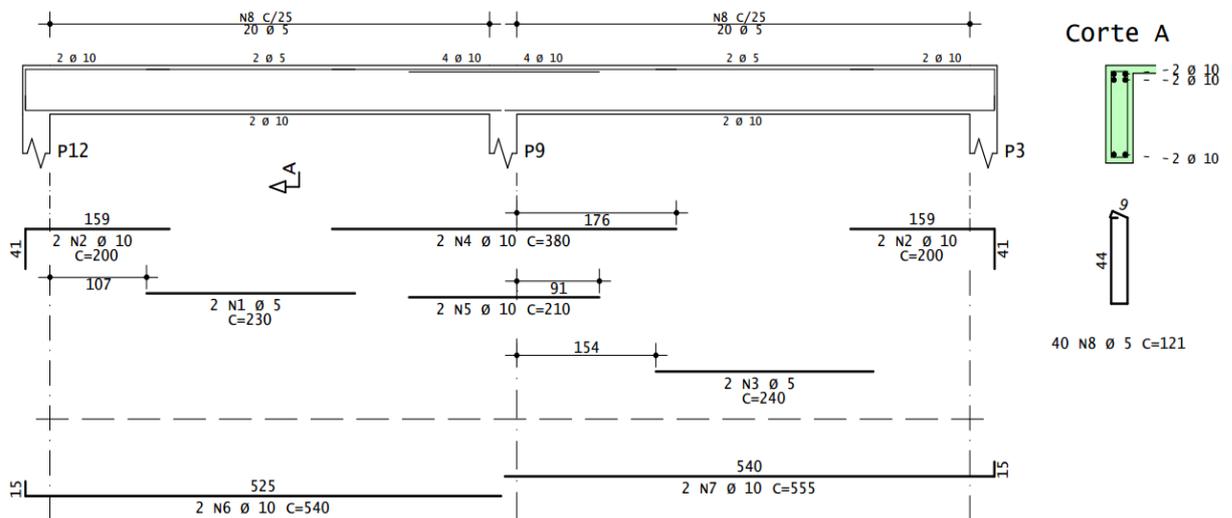


Figura 58 - Armadura da viga V9 – coberta (nível +6,00)

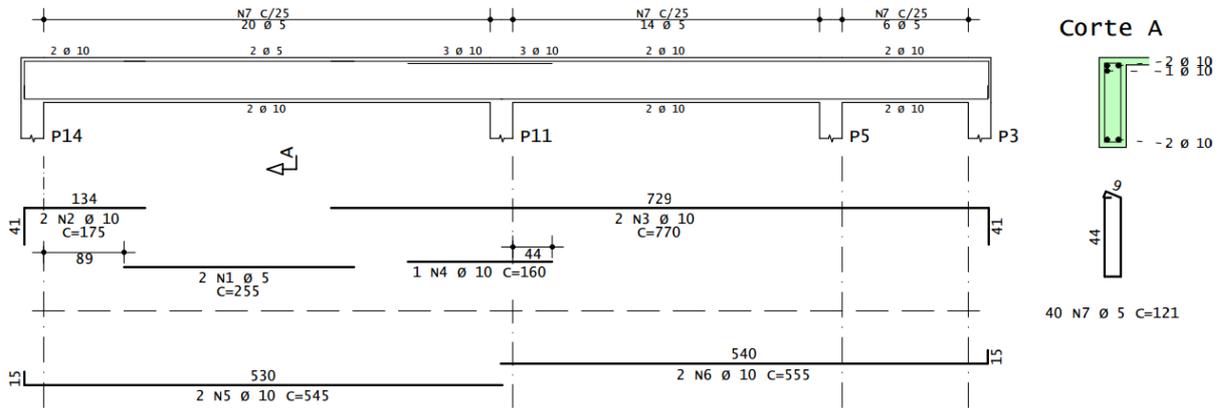
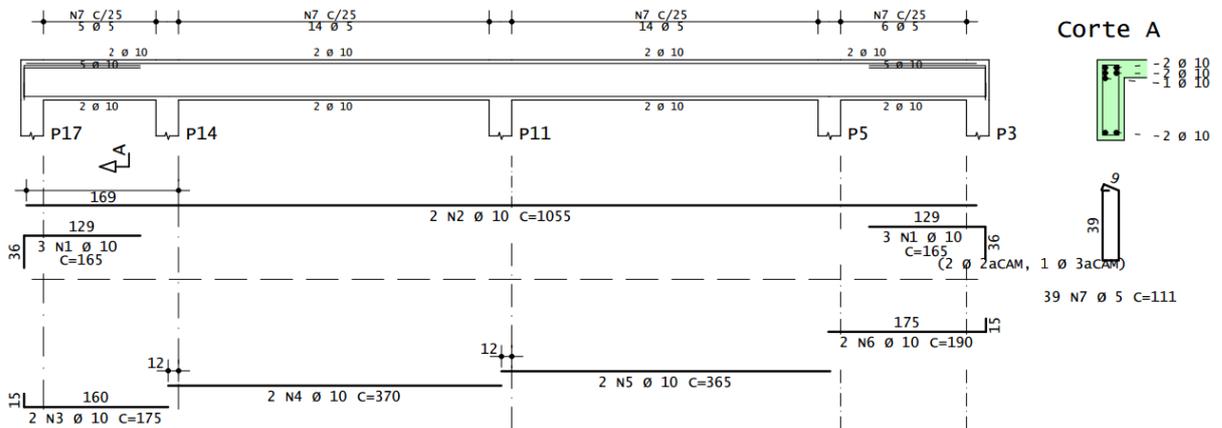


Figura 59 - Armadura da viga V10 – coberta (nível +6,00)



**ANEXO F – PROJETO ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO ARMADO
PRÉ-FABRICADO**

Figura 60 – Planta de forma do pavimento superior da estrutura pré-fabricada (nível +3,00)

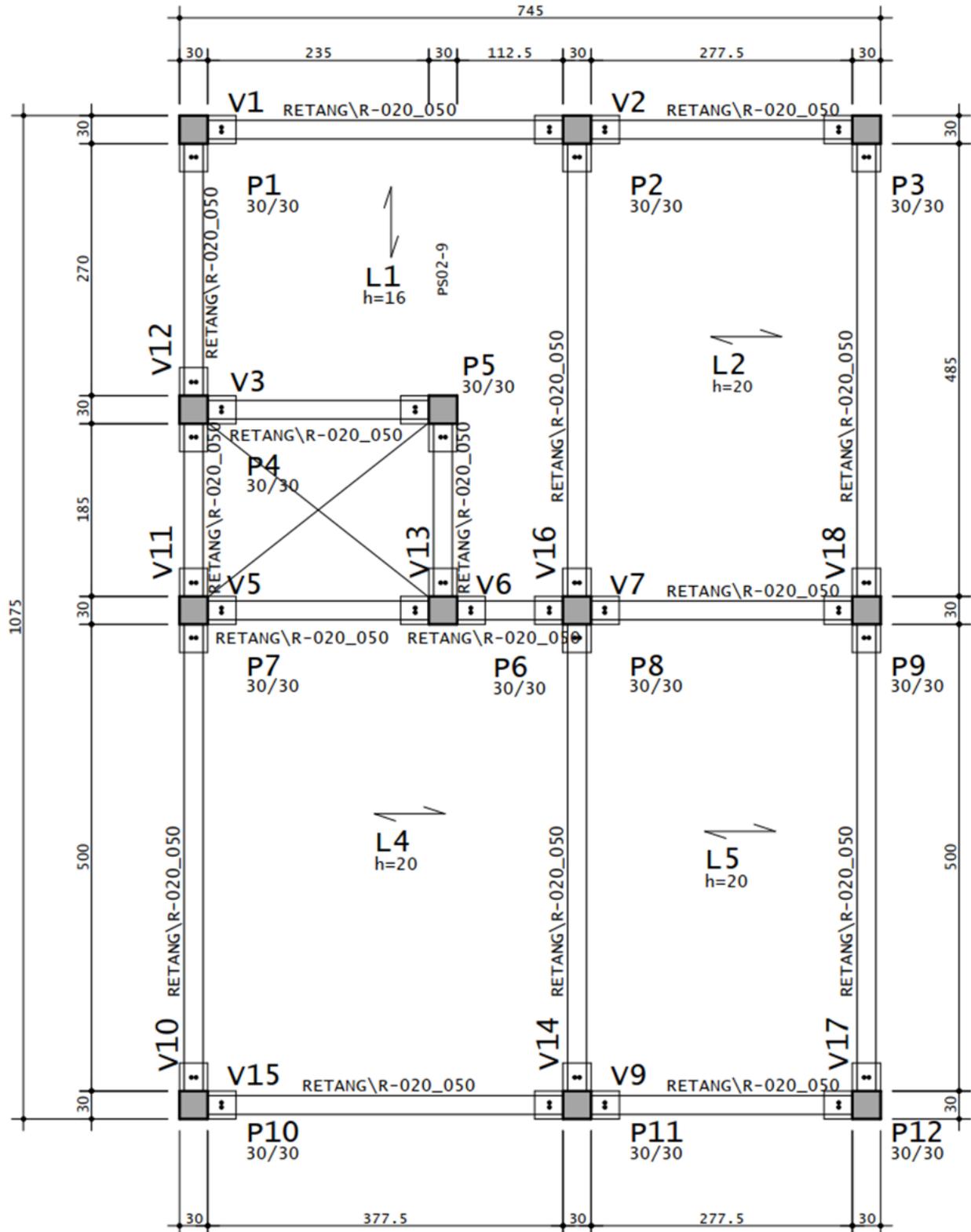


Figura 61 – Planta de forma da cobertura da estrutura pré-fabricada (nível +6,00)

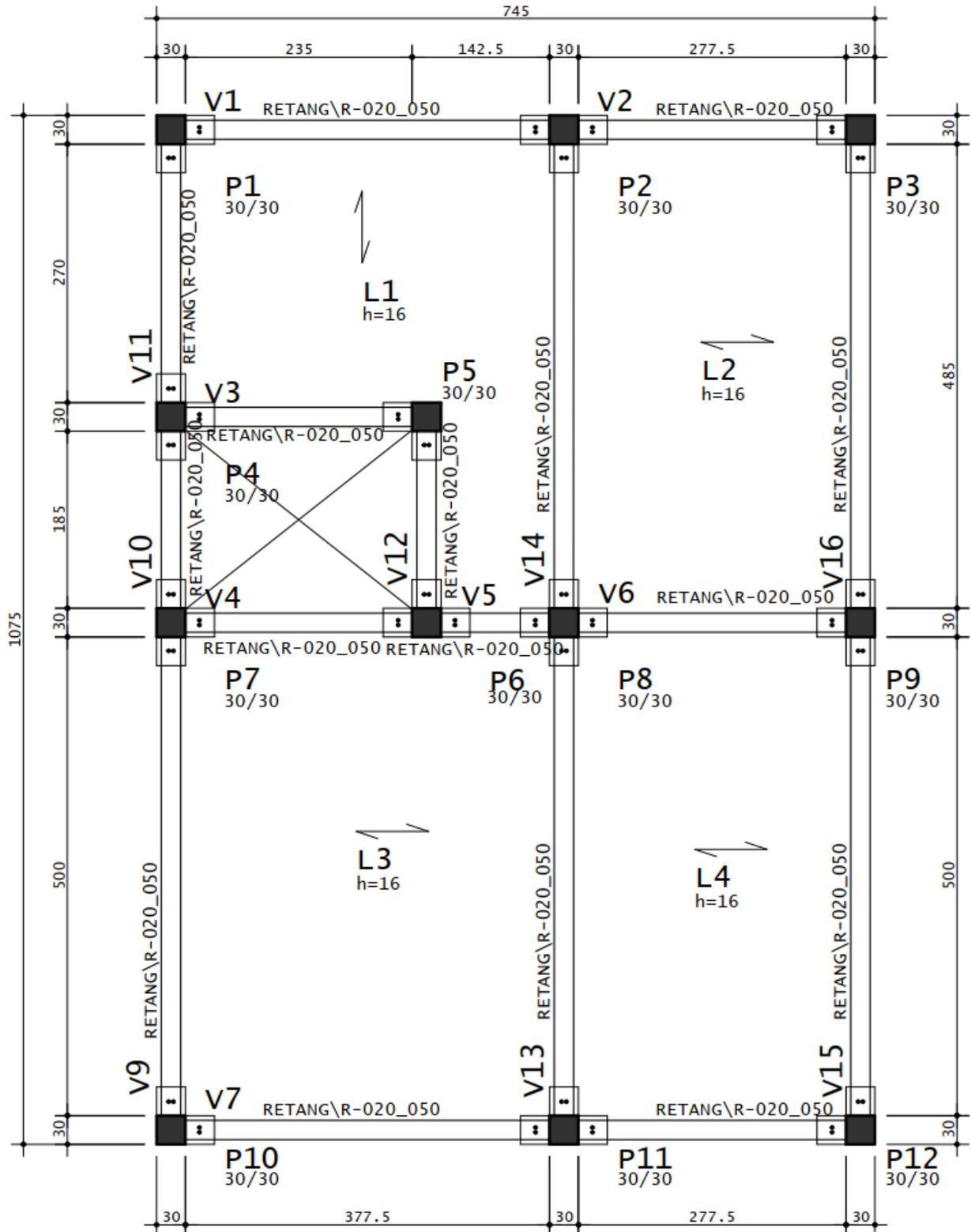


Figura 62 – Forma padrão dos pilares pré-fabricados

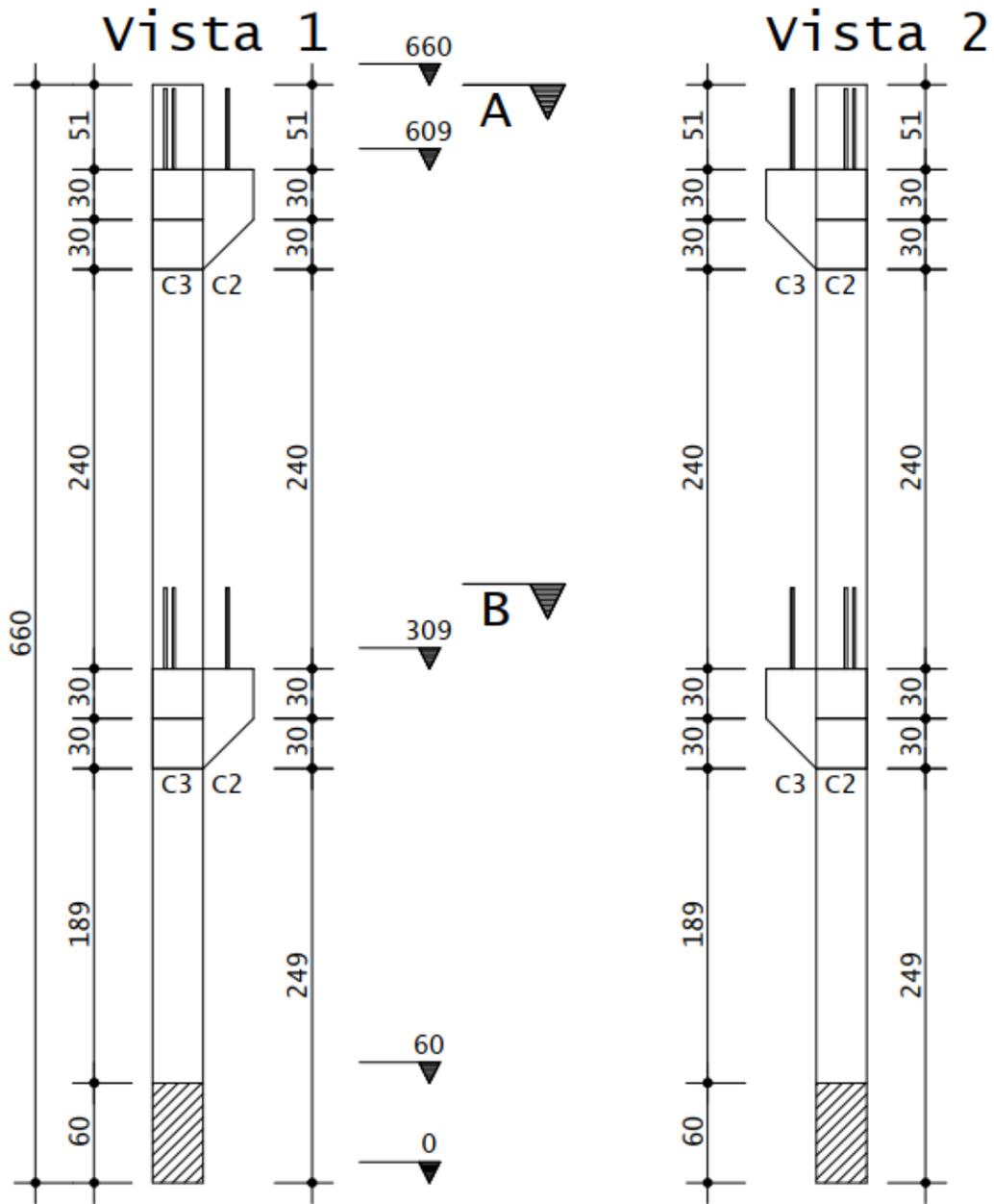


Figura 63 – Forma da viga pré-fabricada VPF-1

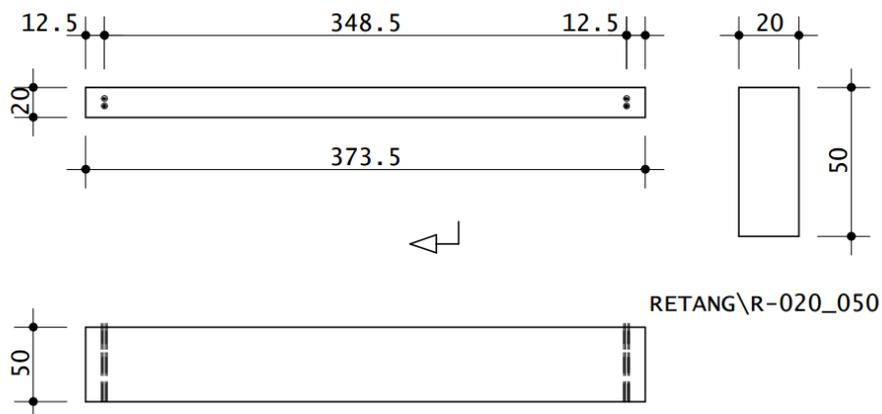


Figura 64 – Forma da viga pré-fabricada VPF-2

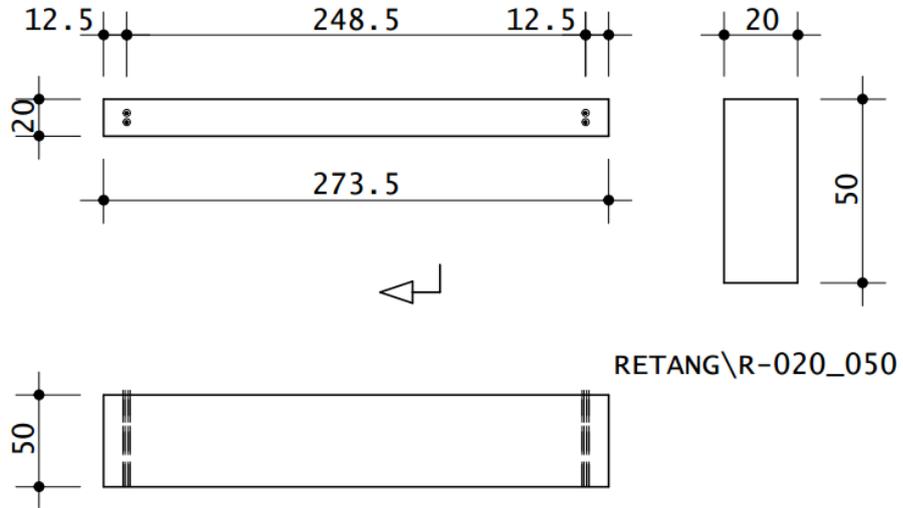


Figura 65 – Forma da viga pré-fabricada VPF-3

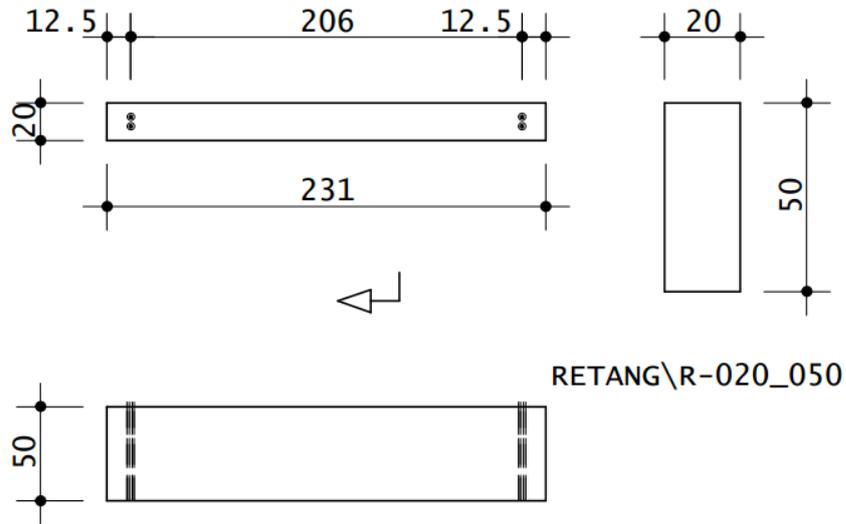


Figura 66 – Forma da viga pré-fabricada VPF-4

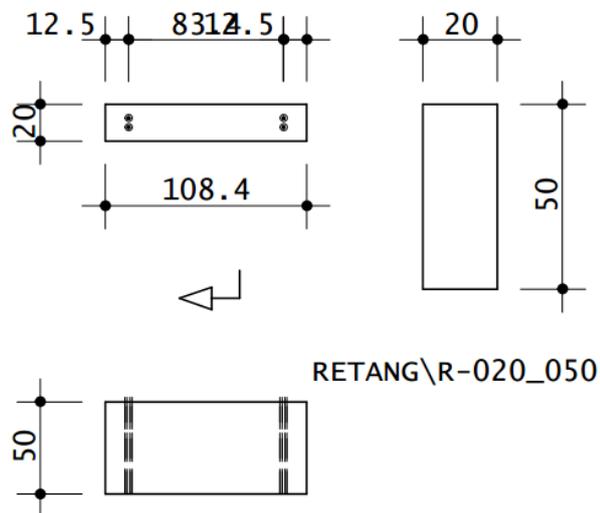


Figura 67 – Forma da viga pré-fabricada VPF-5

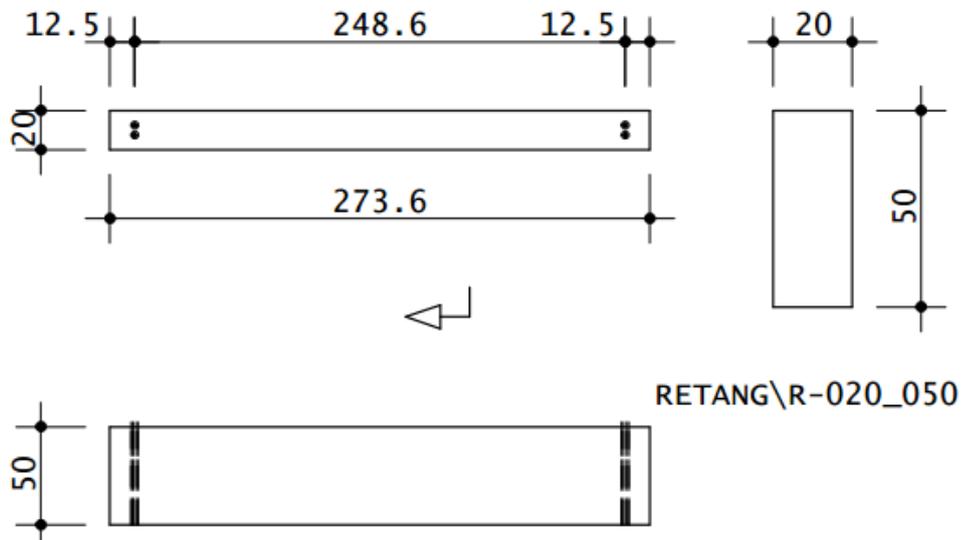


Figura 68 – Forma da viga pré-fabricada VPF-6

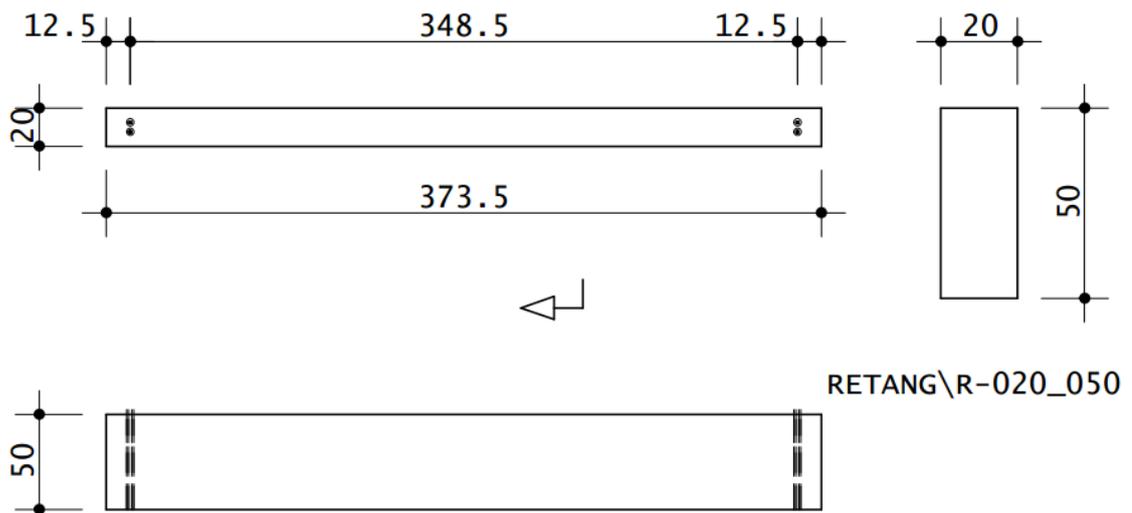


Figura 69 – Forma da viga pré-fabricada VPF-7

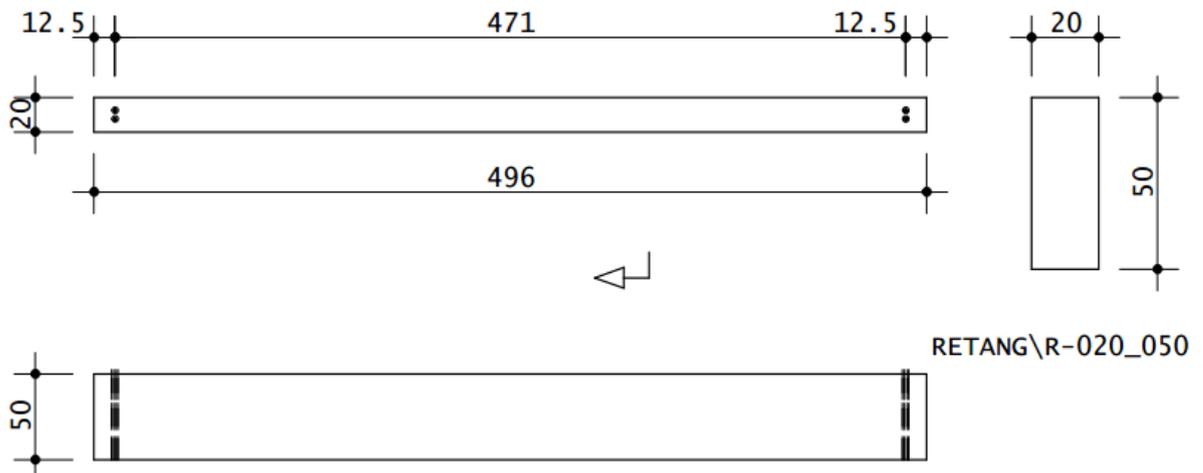


Figura 70 – Forma da viga pré-fabricada VPF-8

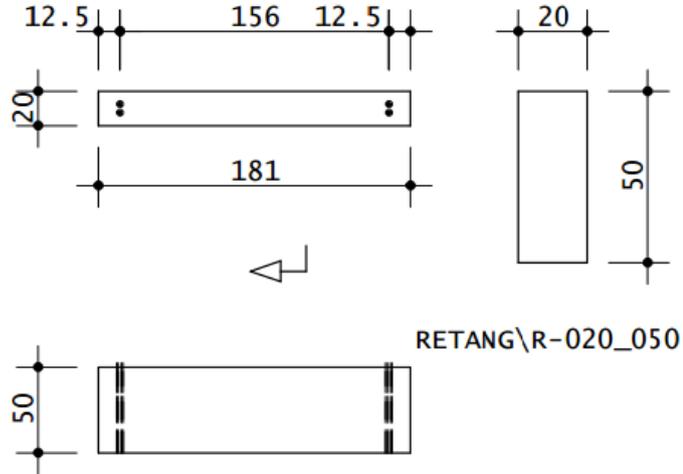


Figura 71 – Forma da viga pré-fabricada VPF-9

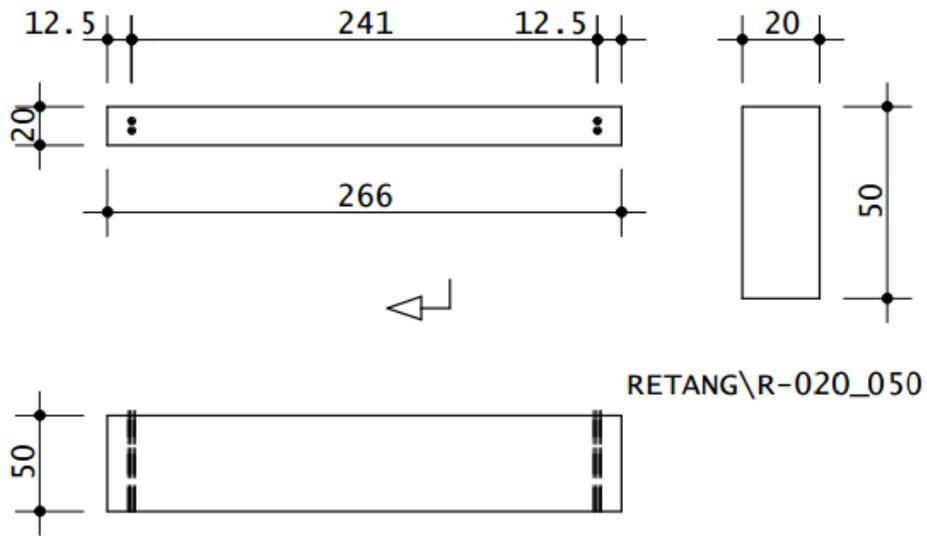


Figura 72 – Forma da viga pré-fabricada VPF-10

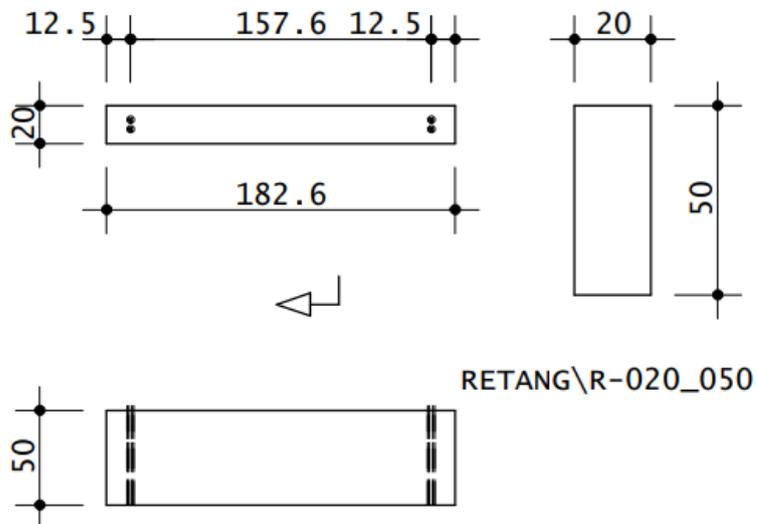


Figura 73 – Forma da viga pré-fabricada VPF-11

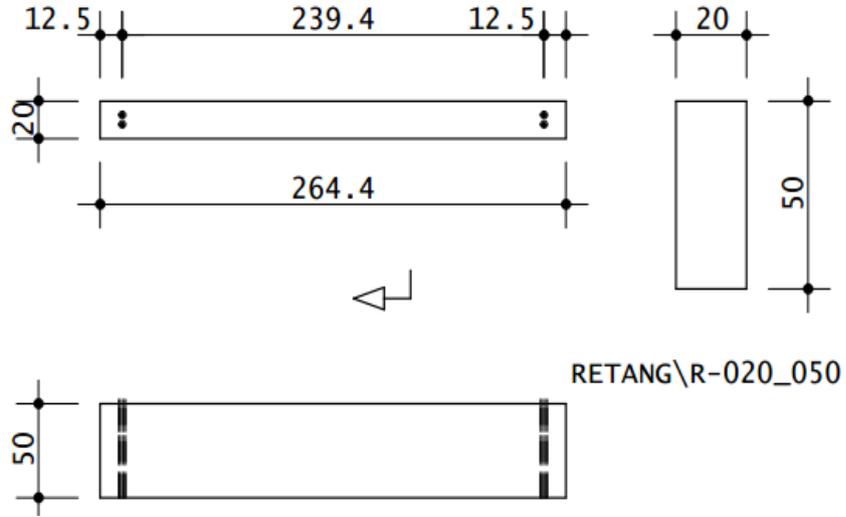


Figura 74 – Forma da viga pré-fabricada VPF-12

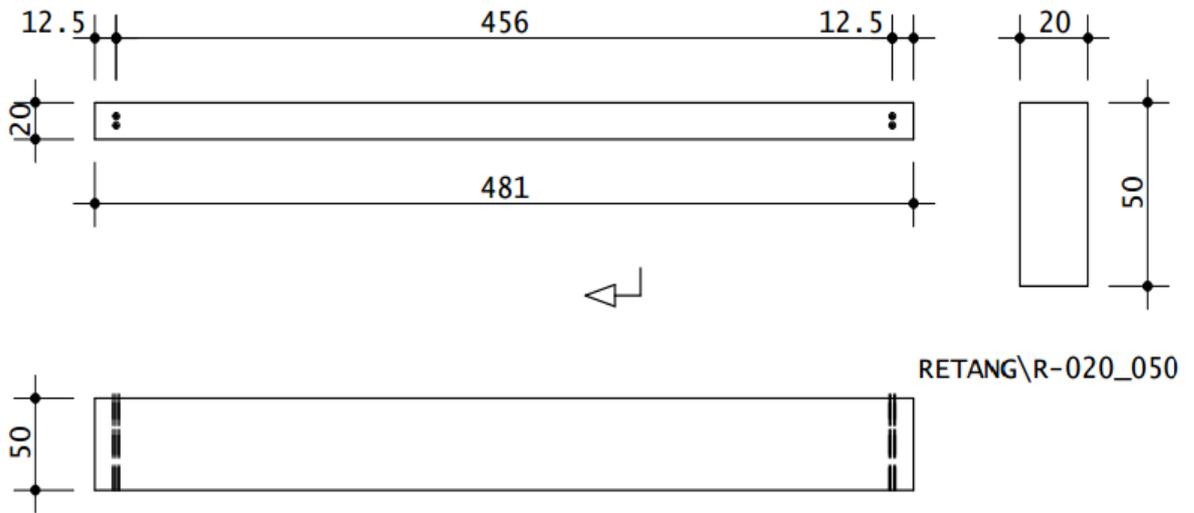


Figura 75 – Forma da viga pré-fabricada VPF-13

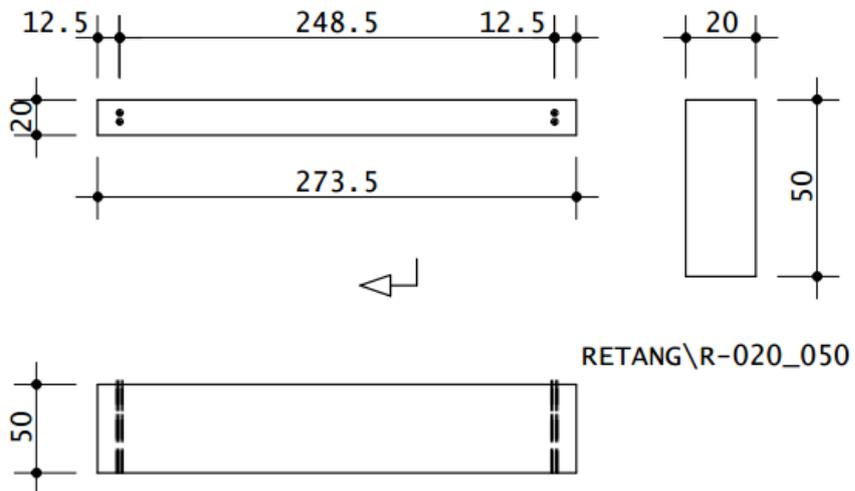


Figura 76 – Forma da viga pré-fabricada VPF-14

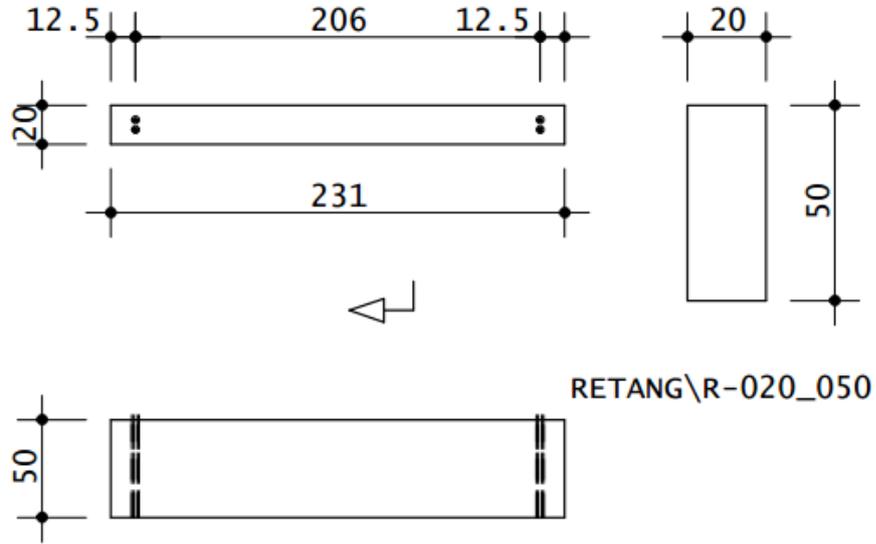


Figura 77 – Forma da viga pré-fabricada VPF-15

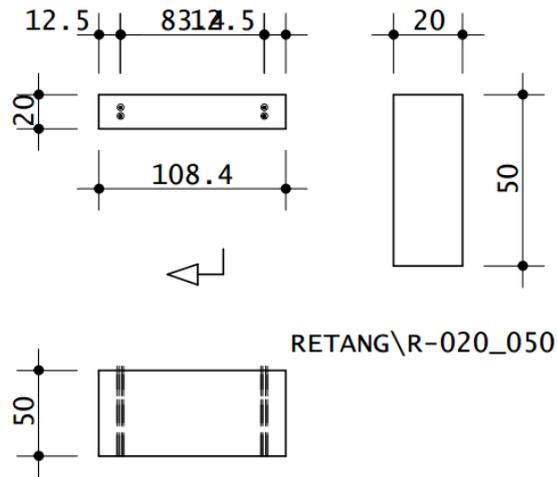


Figura 78 – Forma da viga pré-fabricada VPF-16

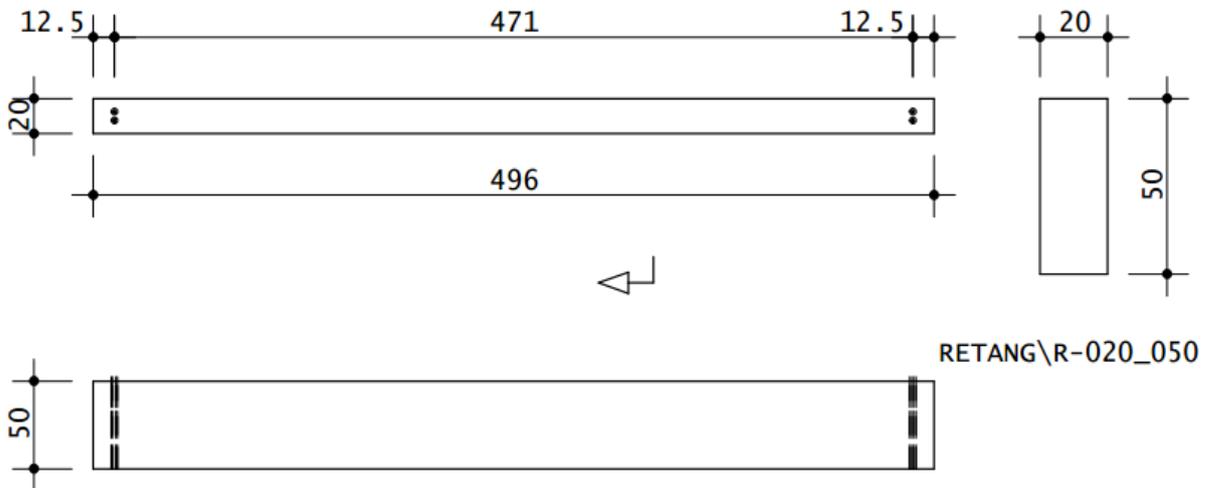


Figura 79 – Forma da viga pré-fabricada VPF-17

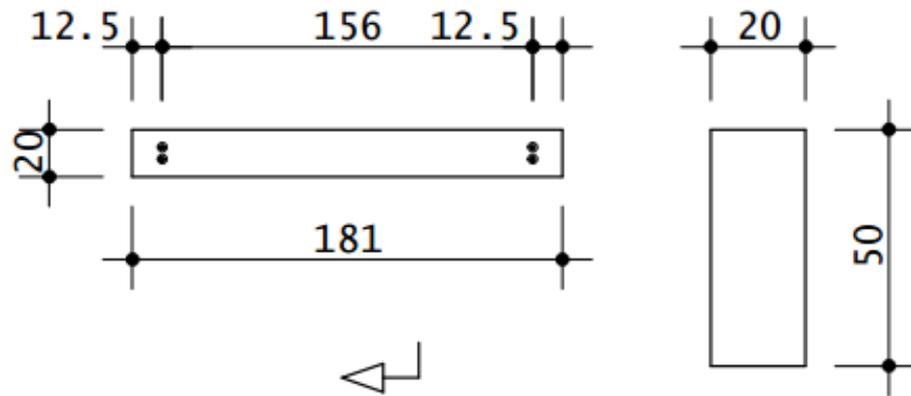


Figura 80 – Forma da viga pré-fabricada VPF-18

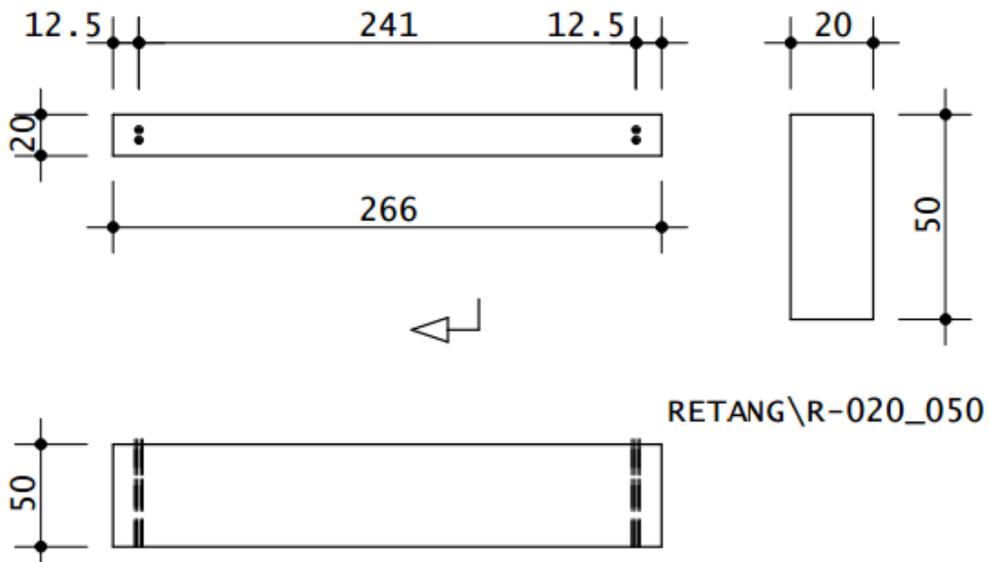


Figura 81 – Forma da viga pré-fabricada VPF-19

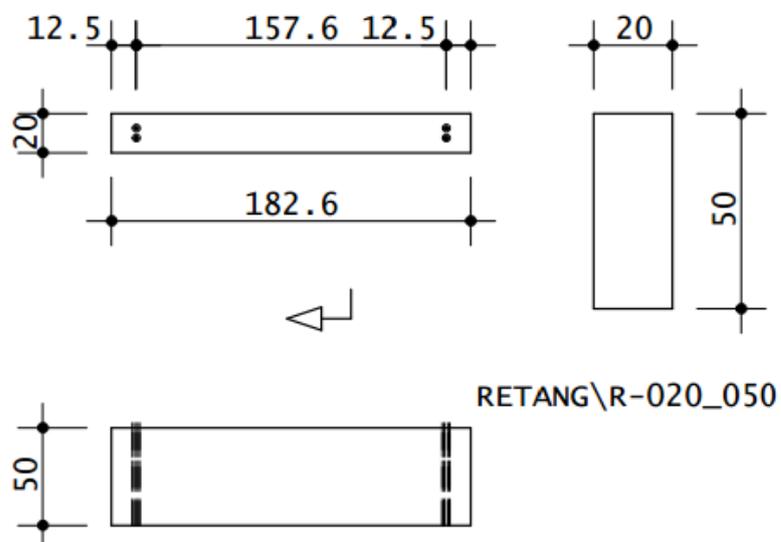
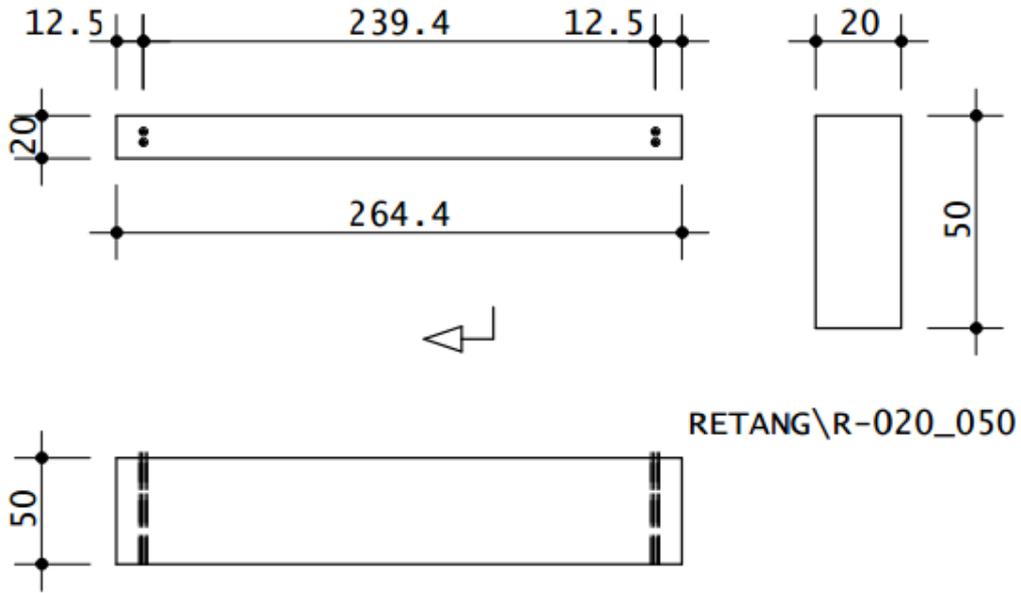


Figura 82 – Forma da viga pré-fabricada VPF-20



ANEXO G – ORÇAMENTO DO PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS NO LOCAL

Tabela 21 – Orçamento sintético da estrutura de concreto armado moldada no local

Item	Banco	Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Valor total
1			Formas				44.529,54
1.1	SINAPI	92263	Fabricação de forma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm	87,04	m ²	152,29	13.255,32
1.2	SINAPI	92423	Montagem e desmontagem de forma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 6 utilizações	87,04	m ²	54,66	4.757,61
1.3	SINAPI	92265	Fabricação de forma para vigas, em chapa de madeira resinada, e = 17mm	119,22	m ²	99,43	11.854,04
1.4	SINAPI	92460	Montagem e desmontagem de forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, 6 utilizações	119,22	m ²	82,92	9.885,72
1.5	SINAPI	96542	Fabricação, montagem e desmontagem de forma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm, 4 utilizações	59,20	m ²	80,69	4.776,85
2			Armação				19.936,84
2.1	SINAPI	92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5.0mm - montagem.	201,00	kg	19,27	3.873,27
2.2	SINAPI	92760	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6.3mm - montagem.	22,00	kg	18,32	403,04
2.3	SINAPI	92761	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8.0mm - montagem.	191,00	kg	17,25	3.294,75
2.4	SINAPI	92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10.0mm - montagem.	506,00	kg	15,43	7.807,58
2.5	SINAPI	92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12.5mm - montagem.	64,00	kg	13,01	832,64
2.6	SINAPI	92764	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.	59,00	kg	12,20	719,80
2.7	SINAPI	96543	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-60 de 5mm - montagem.	63,00	kg	19,26	1.213,38
2.9	SINAPI	96545	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 8mm - montagem.	69,00	kg	17,26	1.190,94
2.10	SINAPI	96548	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.	48,00	kg	12,53	601,44
3			Concreto				6.840,38
3.1	ORSE	11619	Concreto simples usinado fck=25mpa, bombeado, lançado e adensado em superestrutura	15,51	m ³	441,03	6.840,38
4			Lajes treliçadas				28.685,03
1.3	SINAPI	92265	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	86,50	m ²	187,39	16.208,39
1.4	SINAPI	92460	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, inteiros 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	55,39	m ²	225,27	12.476,64
						Total	99.991,79

Tabela 22 – Composições (analítico) utilizadas na estrutura de concreto armado moldado no local

Item	Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1.1	Composição	92263	SINAPI	Fabricação de forma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17mm				152,29
	Insumo	1358	SINAPI	Chapa/painel de madeira compensada resinada (madeirite resinado rosa) para forma de concreto, de 2200 x 1100 mm, e = 17 mm	M2	1,3360	27,53	36,78
	Insumo	4491	SINAPI	Pontaletes *7,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	M	2,3080	13,27	30,62
	Insumo	4517	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	M	9,2370	4,64	42,85
	Insumo	5068	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	KG	0,2080	25,43	5,28
	Composição auxiliar	88239	SINAPI	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,2500	17,27	4,31
	Composição auxiliar	88262	SINAPI	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	1,1800	21,79	25,71
	Composição auxiliar	91692	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chp diumo. af_08/2015	CHP	0,0630	22,11	1,39
	Composição auxiliar	91693	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chi diumo. af_08/2015	CHI	0,2550	21,01	5,35
Item	Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1.2	Composição	92423	SINAPI	Montagem e desmontagem de forma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 6 utilizações				54,66
	Insumo	2692	SINAPI	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	7,80	0,07
	Insumo	40271	SINAPI	Locacao de aprumador metalico de pilar, com altura e angulo regulaveis, extensao de *1,50* a *2,80* m	MES	0,1960	6,01	1,17
	Insumo	40275	SINAPI	Locacao de viga sanduiche metalica vazada para travamento de pilares, altura de *8* cm, largura de *6* cm e extensao de 2 m	MES	0,3930	9,25	3,63
	Insumo	40287	SINAPI	Locacao de barra de ancoragem de 0,80 a 1,20 m de extensao, com rosca de 5/8", incluindo porca e flange	MES	0,7850	2,31	1,81
	Insumo	40304	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	KG	0,0190	31,39	0,59
	Composição auxiliar	88239	SINAPI	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,1380	17,27	2,38
	Composição auxiliar	88262	SINAPI	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,7520	21,79	16,38
	Composição auxiliar	92263	SINAPI	Fabricação de forma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. af_09/2020	M2	0,1880	152,29	28,63
1.3	Composição	92265	SINAPI	Fabricação de forma para vigas, em chapa de madeira resinada, e = 17mm				99,43
	Insumo	1358	SINAPI	Chapa/painel de madeira compensada resinada (madeirite resinado rosa) para forma de concreto, de 2200 x 1100 mm, e = 17 mm	M2	1,1460	27,53	31,54
	Insumo	4491	SINAPI	Pontaletes *7,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	M	0,1660	13,27	2,20
	Insumo	4517	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	M	6,9520	4,64	32,25
	Insumo	5068	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	KG	0,1590	25,43	4,04
	Composição auxiliar	88239	SINAPI	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,2020	17,27	3,48
	Composição auxiliar	88262	SINAPI	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,9110	21,79	19,85
	Composição auxiliar	91692	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chp diumo. af_08/2015	CHP	0,0500	22,11	1,10
	Composição auxiliar	91693	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chi diumo. af_08/2015	CHI	0,2370	21,01	4,97
1.4	Composição	92460	SINAPI	Montagem e desmontagem de forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, 6 utilizações				82,92
	Insumo	2692	SINAPI	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	7,80	0,07
	Insumo	4491	SINAPI	Pontaletes *7,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	M	0,3720	13,27	4,93
	Insumo	10749	SINAPI	Locacao de escora metalica telescopica, com altura regulavel de *1,80* a *3,20* m, com capacidade de carga de no minimo 1000 kgf (10 kn), incluso tripe e forçado	MES	1,1860	4,23	5,01
	Insumo	40275	SINAPI	Locacao de viga sanduiche metalica vazada para travamento de pilares, altura de *8* cm, largura de *6* cm e extensao de 2 m	MES	0,0905	9,25	0,83
	Insumo	40287	SINAPI	Locacao de barra de ancoragem de 0,80 a 1,20 m de extensao, com rosca de 5/8", incluindo porca e flange	MES	0,4740	2,31	1,09
	Insumo	40304	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	KG	0,0330	31,39	1,03
	Insumo	40339	SINAPI	Locacao de cruzeta para escora metalica	MES	1,1860	2,31	2,73
	Composição auxiliar	88239	SINAPI	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,2770	17,27	4,78
	Composição auxiliar	88262	SINAPI	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	1,5110	21,79	32,92
	Composição auxiliar	92265	SINAPI	Fabricação de forma para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. af_09/2020	M2	0,2970	99,43	29,53

Item	Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1.5	Composição	96542	SINAPI	Fabricação, montagem e desmontagem de forma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm, 4 utilizações				80,69
	Insumo	1358	SINAPI	Chapa/panel de madeira compensada resinada (madeirite resinado rosa) para forma de concreto, de 2200 x 1100 mm, e = 17 mm	M2	0,3150	27,53	8,67
	Insumo	2692	SINAPI	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	7,80	0,07
	Insumo	4491	SINAPI	Pontaletes *7,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	M	1,2180	13,27	16,16
	Insumo	4517	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	M	0,7220	4,64	3,35
	Insumo	5073	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 17 x 24 (2 1/4 x 11)	KG	0,0190	25,92	0,49
	Insumo	20247	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 15 x 15 (1 1/4 x 13)	KG	0,0040	28,16	0,11
	Insumo	40304	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	KG	0,0100	31,39	0,31
	Composição auxiliar	88239	SINAPI	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,7250	17,27	12,52
	Composição auxiliar	88262	SINAPI	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	1,7490	21,79	38,11
	Composição auxiliar	91692	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chp diumo. af_08/2015	CHP	0,0140	22,11	0,30
	Composição auxiliar	91693	SINAPI	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chi diumo. af_08/2015	CHI	0,0290	21,01	0,60
2				Armação				
2.1	Composição	92759	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5.0mm - montagem.				19,27
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	1,1900	0,22	0,30
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,83
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0203	17,36	0,40
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,1241	21,91	3,11
	Composição auxiliar	92791	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-60, diâmetro de 5,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	12,75	14,63
2.2	Composição	92760	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6.3mm - montagem.				18,32
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,9700	0,22	0,23
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,80
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0155	17,36	0,29
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0947	21,91	2,31
	Composição auxiliar	92792	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 6,3 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	13,16	14,68
2.3	Composição	92761	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8.0mm - montagem.				17,25
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,7430	0,22	0,17
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,79
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0115	17,36	0,21
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0707	21,91	1,68
	Composição auxiliar	92793	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	13,21	14,40
2.4	Composição	92762	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10.0mm - montagem.				15,43
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,5430	0,22	0,12
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,77
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0086	17,36	0,15
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0529	21,91	1,24
	Composição auxiliar	92794	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	12,24	13,15
2.5	Composição	92763	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12.5mm - montagem.				13,01
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,3670	0,22	0,09
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,77
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0063	17,36	0,11
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0386	21,91	0,89
	Composição auxiliar	92795	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 12,5 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	10,50	11,16

2.6	Composição	92764	SINAPI	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.				12,20
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,2120	0,22	0,04
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,74
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de amador com encargos complementares	h	0,0043	17,36	0,07
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0261	21,91	0,59
	Composição auxiliar	92796	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 16,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	10,42	10,75
2.7	Composição	96543	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-60 de 5mm - montagem.				19,26
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	1,9665	0,22	0,43
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,72
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de amador com encargos complementares	h	0,0635	17,36	1,10
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,1945	21,91	4,26
	Composição auxiliar	92791	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-60, diâmetro de 5,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	12,75	12,75
2.8	Composição	96545	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 8mm - montagem.				17,26
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,7240	0,22	0,15
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,72
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de amador com encargos complementares	h	0,0375	17,36	0,65
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,1155	21,91	2,53
	Composição auxiliar	92793	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	13,21	13,21
2.9	Composição	96548	SINAPI	Armação de viga baldrame utilizando aço CA-50 de 16.0mm - montagem.				12,53
	Insumo	39017	SINAPI	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Unidade	0,1975	0,22	0,04
	Insumo	43132	SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0250	28,93	0,72
	Composição auxiliar	88238	SINAPI	Ajudante de amador com encargos complementares	h	0,0160	17,36	0,27
	Composição auxiliar	88245	SINAPI	Armador com encargos complementares	h	0,0495	21,91	1,08
	Composição auxiliar	92793	SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 16,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	Kg	1,0000	10,42	10,42
3				Concreto				
3.1	Composição	11619	SINAPI	Concreto simples usinado fck=25mpa, bombeado, lançado e adensado em superestrutura				441,03
	Composição auxiliar	34493	SINAPI	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, exclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	1,0000	359,86	359,86
	Composição auxiliar	00129	ORSE	Bombeamento de concreto	m³	1,0000	39,82	39,82
	Composição auxiliar	00128	SINAPI	Lançamento de concreto usinado, bombeado, em peças armadas da superestrutura, inclusive colocação, adensamento e acabamento	m³	1,0000	41,35	41,35
4				Lajes treliçadas				
4.1	Composição	07823	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.				187,39
	Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
	Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m³/m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
	Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m²	1,0000	70,00	70,00
	Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³	0,0600	93,70	5,62
	Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
	Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
	Insumo	01379	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60
	Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
	Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedra/fornecedor, sem frete	m³	0,0408	105,81	4,32
	Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedra/fornecedor, sem frete	m³	0,0136	105,25	1,43
	Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
	Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
	Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
	Insumo	06189	SINAPI	Tabua não aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
	Composição auxiliar	10549	ORSE	Encargos Complementares - Servente	h	2,1000	3,72	7,81
	Composição auxiliar	10550	ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
	Composição auxiliar	10551	ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
	Composição auxiliar	10555	ORSE	Encargos Complementares - Armador	h	0,1500	3,56	0,53

4.2	Composição	09458	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capamento 4cm.				225,27
	Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
	Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m ³ /m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
	Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m ²	1,0000	107,88	107,88
	Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida,sem transporte)	m ³	0,0600	93,70	5,62
	Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
	Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
	Insumo	01379	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60
	Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da regioa - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
	Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedra/fornecedor, sem frete	m ³	0,0408	105,81	4,32
	Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedra/fornecedor,sem frete	m ³	0,0136	105,25	1,43
	Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
	Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
	Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
	Insumo	06189	SINAPI	Tabua nao aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelimou equivalente da regioa - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
	Composição auxiliar	10549	ORSE	Encargos Complementares - Servente	h	2,1000	3,72	7,81
	Composição auxiliar	10550	ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
	Composição auxiliar	10551	ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
	Composição auxiliar	10555	ORSE	Encargos Complementares - Armador	h	0,1500	3,56	0,53

ANEXO H – ORÇAMENTO DO PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO

Tabela 23 – Orçamento sintético da estrutura pré-fabricada de concreto armado

Item	Banco	Código	Descrição	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Valor total
1.1	SINAPI	92263	Fornecimento e montagem de pilares pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	10,56	m³	1.426,48	15.063,63
1.2	SINAPI	92423	Fornecimento e montagem de vigas pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	15,89	m³	3.135,65	49.825,48
1.3	SINAPI	92265	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	85,07	m²	187,39	15.941,27
1.4	SINAPI	92460	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, inteiros 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.	54,57	m²	225,27	12.292,98
						Total	93.123,24

Tabela 24 – Composições (analítico) utilizadas na estrutura pré-fabricada de concreto armado

Item	Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1.1	Composição	01.FUES.PR EM001/01	SINAPI	Fornecimento e montagem de pilares pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	m³	10,5600		1426,48
	Composição Auxiliar	88309	SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	h	1,0770	22,04	23,74
	Composição auxiliar	88316	SINAPI	Servente com encargos complementares	h	2,1530	17,36	37,38
	Composição auxiliar	89272	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHP diruno	CHP	0,6200	184,30	114,27
	Composição auxiliar	88273	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHI diruno	CHI	0,4560	78,32	35,71
	Insumo		Cotação	Pilar de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	m³	1,0000	1215,39	1215,39
1.2	Composição principal	01.FUES.PR EM002/01	SINAPI	Fornecimento e montagem de vigas pré-fabricados para edifícios de até 2 pavimentos, incluso içamento com guindaste.	m³	15,8900		3135,65
	Composição Auxiliar	88309	SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	h	0,3780	22,04	8,33
	Composição auxiliar	88316	SINAPI	Servente com encargos complementares	h	0,7560	17,36	13,12
	Composição auxiliar	89272	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHP diruno	CHP	0,1980	184,30	36,49
	Composição auxiliar	88273	SINAPI	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHI diruno	CHI	0,1800	78,32	14,10
	Insumo		Cotação	Viga de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	m³	1,0000	3063,61	3063,61
1.3	Composição	07823	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em EPS h=12cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.		85,0700		187,39
	Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
	Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m³/m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
	Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m²	1,0000	70,00	70,00
	Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³	0,0600	93,70	5,62
	Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
	Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
	Insumo	01379	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60

Item	Tipo	Código	Banco	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
	Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
	Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m3	0,0408	105,81	4,32
	Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor,sem frete	m3	0,0136	105,25	1,43
	Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
	Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
	Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
	Insumo	06189	SINAPI	Tabua nao aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelimou equivalente da regio - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
	Composição auxiliar	10549	ORSE	Encargos Complementares - Servente	h	2,1000	3,72	7,81
	Composição auxiliar	10550	ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
	Composição auxiliar	10551	ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
	Composição auxiliar	10555	ORSE	Encargos Complementares - Armador	h	0,1500	3,56	0,53
1.4	Composição	09458	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, intereixo 38cm, h=21cm, el. enchimento em EPS h=16cm, inclusive escoramento em madeira e capeamento 4cm.				
	Insumo	00081	ORSE	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	kg	1,8900	9,93	18,77
	Insumo	01569	ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m3/m (angelim, louro)	m	1,8600	10,13	18,84
	Insumo	07534	ORSE	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	m²	1,0000	107,88	107,88
	Insumo	00367	SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida,sem transporte)	m3	0,0600	93,70	5,62
	Insumo	00378	SINAPI	Armador (horista)	h	0,1500	6,93	1,04
	Insumo	01213	SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	h	0,8100	6,93	5,61
	Insumo	01379	SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	18,0000	0,70	12,60
	Insumo	04509	SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da regio - bruta	m	1,0300	5,81	5,98
	Insumo	04718	SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m3	0,0408	105,81	4,32
	Insumo	04721	SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor,sem frete	m3	0,0136	105,25	1,43
	Insumo	04750	SINAPI	Pedreiro (horista)	h	0,4700	6,93	3,26
	Insumo	05075	SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	kg	0,0300	21,84	0,66
	Insumo	06111	SINAPI	Servente de obras	h	2,1000	5,51	11,57
	Insumo	06189	SINAPI	Tabua nao aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelimou equivalente da regio - bruta	m	0,6200	23,72	14,71
	Composição auxiliar	10549	ORSE	Encargos Complementares - Servente	h	2,1000	3,72	7,81
	Composição auxiliar	10550	ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	h	0,4700	3,63	1,71
	Composição auxiliar	10551	ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	h	0,8100	3,62	2,93
	Composição auxiliar	10555	ORSE	Encargos Complementares - Armador	h	0,1500	3,56	0,53

ANEXO I – TABELAS DAS CURVAS ABC

Tabela 25 – Classificação dos itens da estrutura de concreto armado moldado no local de acordo com o diagrama de Pareto

Item	Descrição	Valor total (R\$)	%	% acumulada	Classificação
1	Carpinteiro com encargos complementares	13.422,52	13,42%	13,42%	A
2	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	12.029,58	12,03%	25,45%	A
3	Sarrafo *2,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	7.772,83	7,77%	33,23%	A
4	Chapa/panel de madeira compensada resinada (madeirite resinado rosa) para forma de concreto, de 2200 x 1100 mm, e = 17 mm	7.474,79	7,48%	40,70%	A
5	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	6.654,93	6,66%	47,36%	A
6	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, exclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	5.581,43	5,58%	52,94%	A
7	Pontaletes *7,5 x 7,5* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	4.471,88	4,47%	57,41%	A
8	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	4.162,83	4,16%	61,58%	A
9	Corte e dobra de aço ca-60, diâmetro de 5,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	3.744,54	3,74%	65,32%	A
10	Fabricação de fôrma para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. af_09/2020	3.520,57	3,52%	68,84%	B
11	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m3/m (angelim, louro)	2.673,02	2,67%	71,51%	B
12	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	2.663,09	2,66%	74,18%	B
13	Fabricação de fôrma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. af_09/2020	2.491,96	2,49%	76,67%	B
14	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	2.308,24	2,31%	78,98%	B
15	Armador com encargos complementares	2.431,36	2,43%	81,41%	B
16	Tabua não aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelim ou equivalente da região - bruta	2.087,05	2,09%	83,50%	B
17	Cimento portland composto cp ii-32	1.787,69	1,79%	85,29%	B
18	Servente de obras com encargos complementares	2.749,63	2,75%	88,04%	B
19	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chi diurno. af_08/2015	1.093,71	1,09%	89,13%	C
20	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	947,61	0,95%	90,08%	C
21	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	941,22	0,94%	91,02%	C
22	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	848,44	0,85%	91,87%	C
23	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	797,37	0,80%	92,66%	C
24	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 12,5 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	714,27	0,71%	93,38%	C
25	Lançamento de concreto usinado, bombeado, em peças armadas da superestrutura, inclusive colocação, adensamento e acabamento	641,34	0,64%	94,02%	C
26	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 16,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	634,54	0,63%	94,65%	C
27	Bombeamento de concreto	617,61	0,62%	95,27%	C
28	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedra/fornecedor, sem frete	612,92	0,61%	95,88%	C
29	Locação de escora metálica telescópica, com altura regulável de *1,80* a *3,20* m, com capacidade de carga de no mínimo 1000 kgf (10 kn), incluso tripe e forçado	597,29	0,60%	96,48%	C
30	Pedreiro com encargos complementares	705,14	0,71%	97,19%	C
31	Locação de viga sanduiche metálica vazada para travamento de pilares, altura de *8* cm, largura de *6* cm e extensão de 2 m	414,91	0,41%	97,60%	C
32	Ajudante de armador com encargos complementares	340,99	0,34%	97,94%	C
33	Locação de cruzeta para escora metálica	325,47	0,33%	98,27%	C
34	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 6,3 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. af_12/2015	323,02	0,32%	98,59%	C
35	Locação de barra de ancoragem de 0,80 a 1,20 m de extensão, com rosca de 5/8", incluindo porca e flange	287,49	0,29%	98,88%	C
36	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10" - chp diurno. af_08/2015	269,89	0,27%	99,15%	C
37	Espacador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	205,50	0,21%	99,35%	C
38	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedra/fornecedor, sem frete	202,89	0,20%	99,56%	C
39	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	192,50	0,19%	99,75%	C
40	Locação de apurador metálico de pilar, com altura e ângulo reguláveis, extensão de *1,50* a *2,80* m	101,84	0,10%	99,85%	C
41	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	93,64	0,09%	99,95%	C
42	Prego de aço polido com cabeça 17 x 24 (2 1/4 x 11)	29,01	0,03%	99,97%	C
43	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	18,58	0,02%	99,99%	C
44	Prego de aço polido com cabeça 15 x 15 (1 1/4 x 13)	6,51	0,01%	100,00%	C
	Total	99.991,79	100,00%		

Tabela 26 – Classificação dos itens da estrutura pré-fabricada de concreto armado de acordo com o diagrama de Pareto

Item	Descrição	Valor total (R\$)	%	% acumulada	Classificação
1	Viga de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	48.680,76	52,28%	52,28%	A
2	Pilar de concreto armado pré-fabricado com seção retangular	12.834,52	13,78%	66,06%	A
3	Laje pré-fabricada treliçada para piso ou cobertura, h=16cm, el. enchimento em bloco EPS, h=12cm	11.841,91	12,72%	78,77%	A
4	Servente de obras com encargos complementares	3.309,46	3,55%	82,33%	B
5	Madeira mista serrada (barote) 6 x 6cm - 0,0036 m ³ /m (angelim, louro)	2.630,82	2,83%	85,15%	B
6	Aço ca-50 6,3 a 12,5 mm	2.621,04	2,81%	87,97%	B
7	Tabua nao aparelhada *2,5 x 30* cm, em macaranduba, angelimou equivalente da regioao - bruta	2.054,10	2,21%	90,17%	B
8	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHP diruno	1.786,50	1,92%	92,09%	B
9	Cimento portland composto cp ii-32	1.759,46	1,89%	93,98%	B
10	Carpinteiro com encargos complementares	1.192,53	1,28%	95,26%	C
11	Pedreiro com encargos complementares	1.077,06	1,16%	96,42%	C
12	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da regioao - bruta	835,05	0,90%	97,32%	C
13	Areia grossa - posto jazida/fomecedor (retirado na jazida,sem transporte)	784,78	0,84%	98,16%	C
14	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fomecedor, sem frete	603,24	0,65%	98,81%	C
15	Guindaste hidráulico autopropelido com lança telescópica 28,80 M, capacidade máxima 30 T, potência 97 KW, tração 4 x 4 - CHI diruno	601,15	0,65%	99,45%	C
16	Armador (horista)	219,23	0,24%	99,69%	C
17	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fomecedor,sem frete	199,69	0,21%	99,90%	C
18	Prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10)	92,16	0,10%	100,00%	C
		93.123,49	100,00%		