

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

MARCOS VINICIUS GONÇALVES LEONI

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM RESIDENCIA MULTIFAMILIAR DE DOIS
PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO

Joinville

2022

MARCOS VINICIUS GONÇALVES LEONI

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM RESIDENCIA MULTIFAMILIAR DE DOIS
PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dra. Valéria Bennack.

Joinville

2022

MARCOS VINICIUS GONÇALVES LEONI

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM RESIDENCIA MULTIFAMILIAR DE DOIS
PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 15 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Dra. Valéria Bennack
Orientadora

Dra. Anelize Borges Monteiro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Julian Asdrubal Buritica Garcia
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Há muitas pessoas que contribuíram positivamente pela minha jornada estudantil, mas algumas tiveram um peso inigualável. Agradeço aos meus pais e minha irmã, que me apoiaram, me incentivaram, me deram forças e foram minhas âncoras para realizar este sonho. Aos meus avós e todas as suas orações e cuidados comigo. A Rafaela Miyamoto, minha namorada, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e entendendo a minha ausência enquanto me dedicava a este trabalho. A Dra. Valéria Bennack, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado este papel com extrema dedicação. Aos colegas que fiz durante esses 6 anos, em especial Luan lagho, que me acolheu e me recebeu de braços abertos em sua casa, alguém que convivi intensamente e me deu muitos ensinamentos e ao Suede Steil Kuhn, que me ajudou a materializar este trabalho, saciando minha curiosidade pelo seu cotidiano na área. Aos meus colegas, que fizeram dos meus dias mais alegres, não me deixando esquecer dos meus objetivos e por fim, a todos os meus professores desta graduação, por suas capacidades, suas técnicas que me tornarão um excelente profissional.

“Há uma forma de fazer isso melhor – encontre-a.”

Thomas Edison

RESUMO

O ramo de engenharia de estruturas é uma das atribuições do profissional de engenharia civil. É parte integrante e primordial desse ramo o conhecimento do comportamento das estruturas, como a análise dos esforços, análise de deformações e interpretação de resultados. A realização de um projeto estrutural exige do calculista um vasto conhecimento teórico sobre as propriedades do concreto e do aço, a fim de extrair dos elementos todas as características necessárias para um dimensionamento estrutural seguro e econômico. Este trabalho tem como objetivo a realização do dimensionamento estrutural de um edifício residencial multifamiliar em concreto armado utilizando o software da AltoQ! Eberick, com finalidade de se fazer uma comparação dos resultados obtidos no dimensionamento com observações realizadas *in loco*, visto que o empreendimento foi executado sem projeto estrutural. Para obtenção de soluções do problema, foram realizadas uma série de pesquisas bibliográficas, amparadas em normas técnicas, como a ABNT NBR 6118:2014 com intuito de fundamentar todo o conhecimento com a prática e auxiliar na tomada de decisões durante o dimensionamento. A análise é feita com o intuito de se estimar a qualidade e segurança da estrutura existente, visto que mesmo apresentando inúmeros problemas e patologias, a edificação permanece em uso.

Palavras-chave: Projeto Estrutural. Concreto Armado. Análise.

ABSTRACT

The branch of structural engineering is one of the attributions of a civil engineering professional. A fundamental and primordial part of this field is knowledge of the behavior of structures, through stress analysis, deformation analysis and interpretation of results. Carrying out a structural project demands from the engineer a broad theoretical knowledge about the properties of concrete and steel, in order to bring out from the elements all the necessary characteristics for a safe and inexpensive structural dimensioning. This paper will execute the structural dimensioning of a multifamily residential building in reinforced concrete using the AltoQI Eberick software, focusing on making a comparison of the results obtained on the dimensioning with observations carried out on site, hence the project was executed without structural dimensioning. In order to obtain solutions to the problem, several bibliographical researches were performed, supported by technical standards, such as ABNT NBR 6118: 2014, to base all knowledge with practice and assist in decision-making during dimensioning. The analysis is performed proposing to estimate the quality and safety of the existing structure, since, even with numerous problems and pathologies, the building remains occupied.

Keywords: Structural Design. Reinforced Concrete. Analyse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teste de abatimento do tronco de cone - slump test	27
Figura 2 - Diagrama tensão-deformação.....	33
Figura 3 - Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas	34
Figura 4 - Domínios de deformação	38
Figura 5 - Tipos de apoios.....	43
Figura 6 - Carga concentrada e distribuída	44
Figura 7 - Viga biapoiada com carga distribuída e Diagrama de Momento Fletor.....	45
Figura 8 - Diagrama de Esforço Cortante.....	46
Figura 9 - Planta baixa do primeiro e segundo pavimento	53
Figura 10 - Definições de materiais e Durabilidade.....	55
Figura 11 - Coeficientes de ponderação: ações permanentes	56
Figura 12 - Coeficientes de ponderação: ações acidentais.....	57
Figura 13 - Definição dos pavimentos e níveis.....	58
Figura 14 - Parâmetros de dimensionamento: Pilares	59
Figura 15 - Dados de entrada de Pilar	60
Figura 16 - Parâmetros de dimensionamento: Vigas	61
Figura 17 - Dados de entrada de Viga	62
Figura 18 - Parâmetros de dimensionamento: Lajes.....	63
Figura 19 - Dados de entrada de Laje.....	64
Figura 20 - Parâmetros de verificação ao Estado Limite Último.....	65
Figura 21 - Visualização dos resultados do dimensionamento do Pilar 01	66
Figura 22 - Visualização dos resultados do dimensionamento da Viga 01	66
Figura 23 - Visualização dos resultados do dimensionamento de uma das lajes.....	67
Figura 24 - Pilar da edificação.....	69
Figura 25 - Detalhe de escadas do empreendimento.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da resistência quanto ao fator água/cimento.....	21
Tabela 2 - Classe de consistência do concreto	27
Tabela 3 - Classe de agressividade ambiental (CAA)	47
Tabela 4 - Relação entre Classe de agressividade e qualidade do concreto	47
Tabela 5 - Relação entre Classe de agressividade e cobrimento	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Armado

CP – Concreto Protendido

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

ELU – Estado Limite Último

ELS – Estado Limite de Serviço

Es – Módulo de Elasticidade do aço

fck – Resistência Característica do Concreto à compressão

fcd – Resistência de Cálculo do concreto

fyd – Resistência de Cálculo do aço

fyk – Resistência Característica do aço à tração

M_{máx} – Momento máximo

MPa – Megapascal

ϵ_{yd} – Deformação Específica do aço

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA PELA ESCOLHA DO TEMA	16
2 CONCRETO ARMADO	17
2.1 CONCRETO ARMADO NO BRASIL	18
2.2 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO	18
2.2.1 Cimento	19
2.2.2 Agregado Graúdo	20
2.2.3 Agregado Miúdo	20
2.2.4 Água	21
2.2.5 Traço do Concreto	22
2.2.6 Aditivos	22
2.2.6.1 Retardadores de Pega	23
2.2.6.2 Aceleradores de Pega	23
2.2.6.3 Aumento da Resistência Mecânica	24
2.3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO CONCRETO	24
2.3.1 Dosagem	25
2.3.2 Concreto Fresco	25
2.3.2.1 Consistência	26
2.3.2.2 Trabalhabilidade	26
2.3.2.3 Homogeneidade	28
2.3.2.4 Adensamento	28
2.3.2.5 Pega do Concreto	29
2.3.2.6 Cura do Concreto	30
3.2.3 Concreto Endurecido	30

2.3.3.1 Resistência à Compressão.....	31
2.3.3.2 Resistência à Tração.....	32
2.3.3.3 Módulo de Elasticidade do Concreto.....	32
2.4 CARACTERÍSTICAS DO AÇO.....	33
2.4.1 Resistência Característica do Aço à Tração (f_{yk})	34
2.4.2 Limite de Resistência (f_{stk})	34
2.4.3 Alongamento na Ruptura.....	35
2.5 ADERÊNCIA AÇO CONCRETO	35
2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO ARMADO	36
2.7 REQUISITOS DE QUALIDADE DE ESTRUTURAS E PROJETOS DE CONCRETO ARMADO	37
2.7.1 Estado Limite Último e de Serviço.....	37
2.7.2 Domínios de Deformação	38
2.7.2.1 Resistência Característica.....	38
2.7.2.2 Resistência de Cálculo	39
2.8 PROJETO ESTRUTURAL.....	39
2.8.1 Elementos da estrutura.....	40
2.8.1.1 Lajes.....	40
2.8.1.2 Vigas	41
2.8.1.3 Pilares	41
2.8.2 Apoios nas estruturas.....	42
2.8.3 Cargas distribuídas e concentradas.....	43
3.8.3.1 Cargas Permanentes, Acidentais e Excepcionais	44
3.8.4 Momento fletor	45
2.8.5 Esforço Cortante	45
2.8.6 Durabilidade das estruturas de concreto armado.....	46
3 METODOLOGIA	49

3.1 ANÁLISE ESTRUTURAL POR MEIO DE SOFTWARE	49
3.1.1 Software AltoQI Eberick.....	49
3.2 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA.....	50
3.3 DADOS E CARACTERÍSTICAS DO PROJETO	51
3.3.1 Projeto Arquitetônico.....	51
3.3.2 Localização e Classe de Agressividade.....	53
3.3.3 Materiais Empregados	54
3.3.3.1 Concreto.....	54
3.3.3.2 Aço	54
3.3.4 Cargas Consideradas.....	54
3.4 PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL.....	55
3.4.1 Dados Iniciais	55
3.4.2 Lançamento do Modelo Estrutural.....	57
3.4.3 Resultados das Análises	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
5. CONCLUSÃO	72
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS.....	74
ANEXO A – PLANTAS PROJETO ARQUITETÔNICO	76
ANEXO B – CADERNOS ESTRUTURAIS	82
ANEXO C – ESTRUTURAL 3D	138

INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto armado é uma técnica construtiva utilizada em praticamente todo o mundo. A justificativa pela grande utilização de estruturas de concreto armado em comparação com estruturas feitas com outros materiais se dá pela alta disponibilidade de matéria prima e pela facilidade de aplicação (BASTOS, 2006).

Bastos (2006), afirma que as estruturas de concreto podem ser empregadas em diversos tipos de construção, como edifícios, viadutos e pontes, barragens, aeroportos, obras portuárias etc. Segundo Krauss (2017), umas das atribuições do engenheiro civil é a área de engenharia das estruturas, sendo os profissionais desse ramo os responsáveis por projetar as edificações de acordo com os critérios normativos e com segurança.

Hoje em dia, fala-se muito em economia, o custo é o divisor de águas para basicamente tudo. Muitas pessoas ainda tem o pensamento de que: quanto mais se aumentam as dimensões da estrutura, mais carga resistirá. Carvalho e Figueiredo (2015) afirmam que esse pensamento não deixa de estar correto, porém devemos dimensionar as estruturas conforme a sua finalidade. Diante disso, possível dimensionar uma estrutura extremamente segura e ao mesmo tempo econômica em concreto armado?

O avanço da tecnologia permitiu ao profissional que antes executava cálculos estruturais de maneira manual, agilidade e praticidade no processo de concepção dos projetos através da utilização de ferramentas e artifícios computacionais, como o *software* da AltoQI Eberick). Segundo Krauss (2017), a concepção estrutural tem como ponto inicial a análise do projeto arquitetônico, definindo-se o posicionamento dos pilares, vigas e lajes. Posteriormente realiza-se um pré-dimensionamento da estrutura e então finalmente o dimensionamento em si.

Vale ressaltar que mesmo com o uso de ferramentas computacionais, é de suma importância que o profissional engenheiro compreenda as informações e procedimentos de maneira correta e segura. Lehmkuhl (2018) salienta que, após a entrega de todos os projetos, cabe ao engenheiro executor a leitura e observação de todos os pontos críticos do projeto, tendo conhecimento de suas responsabilidades

técnicas e compatibilização dos demais projetos necessários para a execução da obra.

É necessária muita cautela desde a concepção estrutural, partindo do projeto arquitetônico, bem como no próprio dimensionamento, analisando detalhadamente os resultados e realizando a tomada de decisões práticas de modo a garantir a estabilidade da estrutura. É muito importante para o calculista conhecer cada etapa do projeto, desde a concepção até a execução, para assim torná-lo compatível com o que é esperado do empreendimento e contribuir tomadas de decisões assertivas durante o processo de execução do mesmo (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

Diante disto, com o objetivo de aprimorar o conhecimento em cálculo estrutural seguinte trabalho teve como foco o dimensionamento de uma residência multifamiliar por meio de *software* computacional.

1.1 OBJETIVO GERAL

Tem-se como objetivo deste trabalho dimensionar uma unidade residencial multifamiliar em concreto armado, com o auxílio do software de cálculo estrutural da AltoQI Eberick.

1.1.1 Objetivos Específicos

Tendo em vista que o presente trabalho consiste na realização de um dimensionamento e detalhamento estrutural, são traçados os seguintes objetivos:

- a) Elaborar e analisar o projeto arquitetônico;
- b) Posicionar os elementos estruturais;
- c) Lançar a estrutura através de um pré-lançamento da mesma no software da AltoQI Eberick;
- d) Definir as condições de contorno;
- e) Analisar os dados obtidos;
- f) Detalhar a estrutura;
- g) Comparar os resultados obtidos no *software* com observações visuais *in loco*.

1.2 JUSTIFICATIVA PELA ESCOLHA DO TEMA

A escolha pela obra em questão se deve ao fato de a mesma ter sido executada sem projeto estrutural e apresentar vários problemas patológicos. Ao participar como estagiário, de um programa de reforma estrutural do local, obtive curiosidade de saber qual o motivo do empreendimento apresentar tantos problemas, e tentar através deste trabalho estimar a qualidade e segurança da estrutura.

2 CONCRETO ARMADO

A utilização do material denominado concreto é muito antiga, desde o início da sua descoberta muitas técnicas foram incorporadas ao processo de fabricação chegando-se, no século XIX, a criação e utilização do material conhecido como concreto armado. O concreto em si, constituído por cimento, agregados graúdos e miúdos e água é um material que apresenta alta resistência a compressão, porém, baixíssima resistência à compressão (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

Em função da sua baixa resistência à tração, a utilização do concreto era inviabilizada em grandes vãos. Por conta dessa limitação, iniciou-se a busca por empregar um material que contribuísse com a resistência dos esforços de tração, bem como possuísse boa aderência ao concreto. Segundo Porto e Fernandes (2015), a partir desse princípio foram surgindo estudos com relação a utilização de materiais que pudessem contribuir para a resolução desse problema estrutural e, em decorrência dessa busca, foram surgindo expressivas melhorias tanto em materiais quanto em métodos de execução.

Carvalho e Figueiredo (2015) citam que um dos responsáveis por iniciar essa busca foi Joseph Monier, um paisagista francês, considerado por muitos o pai do concreto armado. Monier foi um dos pioneiros a empregar os então novos materiais e métodos de execução, inicialmente, na construção de vasos de flores.

Um marco importante para a história do concreto ocorreu em 1886, quando o engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss comprou as patentes de Monier para desenvolvê-las e fundou uma empresa que realizava construções em concreto que seguia o sistema Monier. Dezoito anos depois, em 1904, foram publicadas na Alemanha, as “Instruções provisórias para preparação, execução e ensaio de construções de concreto armado” (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015, p. 23).

Atualmente, o concreto armado é o material mais utilizado para a construção em todo o mundo, pelo fato do mesmo apresentar excelente desempenho, facilidade de execução, mão de obra facilitada e custo relativamente baixo, em comparação com outros materiais (PORTO; FERNANDES, 2015).

2.1 CONCRETO ARMADO NO BRASIL

Pouco se conhece a respeito do início da utilização do concreto armado no Brasil. Os primeiros relatos datam de 1904, no estado do Rio de Janeiro. De acordo com informações, o material começou a ser empregado em construções habitacionais, sendo posteriormente difundido no restante do país, muito em decorrência do êxito obtido no emprego preliminar do material (PORTO; FERNANDES, 2015).

Segundo Porto e Fernandes (2015) com o crescente uso do material nas construções surgiu a necessidade de padronização, adoção de parâmetros, ou seja, a criação de um órgão que por meio de estudos estipulasse técnicas para a execução do produto. Na época, pouco se sabia sobre as características dos materiais, porém houve a criação de uma norma para este fim. Em 1940, foi desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NB-1: cálculo e execução de obras de concreto armado, a primeira norma brasileira para projeto e dimensionamento de estruturas de concreto armado.

No Brasil, atualmente a norma que rege as diretrizes de elaboração de estruturas em concreto armado é a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, cuja revisão mais recente data de 2014.

2.2 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

O material concreto é constituído por cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e água. O concreto em si possui boa resistência à compressão, em contrapartida sua resistência a tração é quase desconsiderada. Para efeito de comparação, o concreto possui resistência à tração na ordem de um décimo da resistência à compressão (NEVILLE, 2016).

O conceito de concreto armado surge da incorporação do elemento aço ao concreto. A escolha pelo aço se dá pelo simples fato de o material possuir grande capacidade a suporte de tração e maior deformabilidade se comparado ao concreto. O objetivo dessa mistura é que os dois materiais se comportem como um elemento único, quando satisfeitas as condições de boa aderência entre os dois materiais, fato este que segundo Carvalho e Figueiredo (2015) é facilitado por conta da proximidade do coeficiente de dilatação dos dois materiais, auxiliando assim no total envolvimento

do aço com o concreto, prevenindo a oxidação e contribuindo de maneira positiva com os efeitos a altas temperaturas.

O concreto é obtido por meio da mistura adequada de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água. Em algumas situações, são incorporados produtos químicos ou outros componentes. As adições tem a finalidade de melhorar algumas propriedades, como aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015. p.29)

A armadura utilizada em estruturas de concreto armado convencionais é chamada de armadura passiva: o comportamento estrutural das barras se torna visível quando o concreto começa a se deformar. As armaduras ativas, possuem comportamento contrário: a protensão dessas armaduras induz à compressão do concreto antes mesmo de se deformar.

Adão e Hemerly (2010) afirmam que um dos fatores que influenciam na durabilidade das estruturas de concreto armado é a consideração de uma camada de recobrimento de concreto na armadura. Essa camada protege o aço contra altas temperaturas, oxidação, ataques químicos e impactos físicos. Para ter essas condições favoráveis na estrutura, é necessário se obter um concreto adequadamente dosado e sem fissuras com aberturas excessivas.

O concreto é composto por água, agregados e aglomerante, que neste caso é o cimento. A proporção entre os materiais da mistura é chamada de traço, sendo que cada utilização possui seu traço definido de maneira adequada a fim de se adquirir a resistência desejada (ADÃO; HEMERLY, 2010).

2.2.1 Cimento

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos, que, ao serem misturados com a água, hidratam-se, formando uma massa gelatinosa, finamente cristalina, que após contínuo processo de cristalização, endurece, oferecendo então elevada resistência mecânica. Para Neville (2015), cimento no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta.

Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (BAUER, 2015, p.35).

2.2.2 Agregado Graúdo

Segundo Botelho e Marchetti (2015) o uso desse tipo de agregado auxilia na resistência do concreto, e pelo fato de ocupar grande proporção de espaços dentro do maciço, acaba diminuindo o custo final do concreto por conta da redução do uso de cimento na mistura. Trata-se de rochas encontradas em jazidas naturais que passam por um processo de moagem, que garantem as granulometrias adequadas e solicitadas pelas normas técnicas para a execução de concretos.

[...] a resistência média dos concretos varia normalmente de 15 a 60 MPa, enquanto as pedras possuem resistência média variando na faixa de 80 a 200 MPa. Vê-se por aí que o concreto nada mais é que uma pedra artificial fraca e que o uso mais intenso possível de agregado é mais vantajoso por economia [...] (BOTELHO; MARCHETTI, 2015, p.221).

A ABNT NBR 6118:2014 Projeto de Estruturas de Concreto indica que a dimensão máxima do agregado deverá ser menor que 1/4 da menor distância entre as faces da forma e 1/3 da espessura das lajes.

2.2.3 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos são definidos pela ABNT NBR 9935:2011 como agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm [...] (ABNT NBR 9935, 2011, p.4).

Geralmente utilizamos como agregado miúdo a areia, material que atende as características granulométricas exigidas e é um material natural de fácil extração. A areia é um material extraído principalmente dos rios, fontes de água doce, mas pode também ser extraída do mar. Conforme Bertolini (2016) muito se questiona sobre a utilização da areia do mar nas estruturas, esta prática não é indicada pelo fato do material extraído do mar possuir sal e alguns outros elementos químicos, o que contribui para a oxidação da armadura nas estruturas.

A utilização de materiais sustentáveis na produção de elementos construtivos é uma alternativa para redução do impacto ambiental do setor da construção civil. Muito se fala da utilização de resíduos recicláveis na construção civil, segundo Fontes e Lima (2017), está sendo produzida uma areia industrial que tem como componentes resíduos recicláveis da construção civil, de acordo com as normas e especificações de uso desse tipo de material.

2.2.4 Água

A água possui uma função muito importante na composição de um concreto de qualidade, Azeredo (1997) diz que a mesma desempenha um grande papel no que diz respeito a manter o cimento hidratado para uma perfeita reação química desse elemento, interferindo diretamente na sua resistência do produto final. O autor ainda complementa que a água usada para a mistura do concreto deve ser limpa, isenta de óleos, álcalis e ácidos.

Água em falta impede a completa hidratação do cimento, diminuindo a resistência final do concreto. Além disso, a falta de água leva a um concreto muito seco e de difícil trabalhabilidade. Por outro lado, água em demasia favorece a trabalhabilidade, mas produz concreto fraco e sem resistência (BOTELHO; MARCHETTI, 2015, p.222).

Segundo Bertolini (2016), para controle da hidratação do cimento, utiliza-se o fator água/cimento. Segundo o mesmo autor o fator água cimento a/c determina a porosidade capilar da pasta de compostos de cimento e, assim, resistência à penetração dos agentes agressivos. A Tabela 1 mostra diferentes proporções para misturas e suas respectivas resistências.

Tabela 1 - Variação da resistência quanto ao fator água/cimento

Fator Água/cimento	Litros de Água por saco de cimento: 50kg	Resistência à compressão (MPa)		
		3 dias	7 dias	28 dias
0,4	20	19,5	25,4	35
0,6	30	11,4	15,3	21,5
0,8	40	6,7	9,6	13,2

Fonte: Botelho e Marchetti (2015).

Observa-se que com a crescente relação água/cimento, a resistência do concreto diminui progressivamente.

2.2.5 Traço do Concreto

O traço é definido com a proporção dos materiais que serão utilizados na mistura de concreto. Fazendo uma analogia é como se fosse uma receita de bolo para se obter as resistências desejadas para o concreto (ADÃO; HEMERLY, 2010).

O traço é a medida em volume dos três elementos sólidos – cimento, areia e agregado graúdo – nesta ordem, com números separados por dois pontos indicando suas medidas. Por exemplo: o traço 1:2:3 indica que 1 unidade de volume de cimento será misturada a 2 unidades de areia e 3 de pedra (ADÃO; HEMERLY, 2010, p.05).

2.2.6 Aditivos

Aditivos, conforme Adão e Hemerly (2010) são substâncias adicionadas ao concreto ou argamassa a fim de proporcionar mudanças em algumas das suas propriedades físicas, ou seja, são incorporados na mistura de cimento, água, areia e agregado graúdo com o intuito de proporcionar características especiais ao concreto, alterando suas propriedades tanto no estado fresco quanto endurecido. Segundo os autores nem todo tipo de concreto necessariamente precisa desse tipo de tratamento. Fatores como distância da usina até a obra, condições climáticas entre outros eventos é que demandam o uso desse tipo de produto.

Aditivos para o concreto são substâncias produzidas industrialmente, especialmente líquidas ou viscosas, podendo ser também em forma de “pó”, feitas para ser diluídas na água do concreto, em fase de preparo, com diversos objetivos (ADÃO; HEMERLY2010, p.175).

Segundo Bertolini (2016) os aditivos são indispensáveis para se obter um concreto fresco trabalhável, caso requeira uma baixa relação a/c para garantir a resistência à compressão ou os requisitos de durabilidade. Ainda, de acordo com Botelho e Marchetti (2015) quando se tem a necessidade de aumentar a trabalhabilidade do concreto sem alterar muito o fator a/c, podemos utilizar produtos plastificantes que aumentem essa trabalhabilidade sem precisar aumentar o teor de

água do concreto. Para estruturas que estarão sujeitas a gelo ou degelo é necessário o emprego de aditivos aeradores de concreto.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 não é permitido o uso de aditivos contendo cloreto na sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

A aplicação dos concretos não envolve apenas a sua moldagem, mas também a forma de transporte do material até o local onde será aplicado. No caso de um concreto para bombeamento, um endurecimento rápido limita o seu transporte em uma tubulação, aumentando o risco de entupimento. Dessa forma, um dos principais fatores a serem considerados na adequação da aplicação do concreto é sua trabalhabilidade (OLIVEIRA *et al.*, 2013, p.11).

2.2.6.1 Retardadores de Pega

Determina-se retardador, segundo Adão e Hemerly (2010) o material que adicionado ao concreto, faz com que a pega do material seja atrasada, proporcionando melhores condições de concretagem e facilidade de trabalhabilidade do concreto.

Este aditivo impede a perda rápida da água do concreto, prolongando sua plasticidade com a elevação geral da temperatura. É utilizado para a obtenção da melhoria do concreto plástico na obra, quando não se precisa diminuir o tempo para tal. Isto permite uma revibração do concreto, reduzir a água de amassamento e aumentar as resistências mecânicas do concreto, além de melhorar a impermeabilidade (ADÃO; HEMERLY, 2010, p.176).

2.2.6.2 Aceleradores de Pega

Diferentemente do retardador, o material denominado acelerador, tem a finalidade de diminuir o tempo de início da pega do concreto, contribuindo para o desenvolvimento mais rápido das resistências iniciais (ADÃO; HEMERLY, 2010).

Adão e Hemerly (2010) dizem que este tipo de aditivo é comumente usado em épocas mais frias, já que abaixo de 15° C o cimento apresenta retardamento da resistência nas idades iniciais, provocado pelo baixo nível de calor de hidratação do cimento, responsável pelo endurecimento do material. Ao ser adicionado na mistura, o acelerador atua quimicamente para evitar o retardo da cura do concreto, contribuindo para a agilidade do processo produtivo.

A proporção de aditivo/água pode variar desde a relação 1:3 até 1:15 (aditivo:água). Recomenda-se que o consumo de cimento seja, no mínimo, ≥ 400 para o concreto estrutural de 350kg/m³. É importante a definição do uso,

porque o mesmo tipo de concreto aditivado, em termos de resistência, pode ser obtido por diversas proporções com variação do tempo (ADÃO; HEMERLY, 2010, p.176).

2.2.6.3 Aumento da Resistência Mecânica

Aumentar a resistência mecânica do concreto é um dos assuntos que mais desperta a atenção dos calculistas atualmente. A resposta para essa pergunta pode ser obtida através do uso de diversos tipos de aditivos específicos para função, aditivos esses que não são aplicados somente na mistura com a água, mas sim também ao cimento.

Por mais que se aumente consideravelmente a resistência dos concretos com o uso de aditivos, Adão e Hemerly (2010) destacam que um concreto de boa qualidade é aquele feito excepcionalmente com seus ingredientes naturais. Ambos destacam que alguns dos aditivos utilizados para aumento dessa propriedade são: “plastificante, retardadores, microssílica, cinza volante, escória de alto forno, fibras de aço e de nylon, entre outros”.

2.3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto tem como sua principal propriedade a resistência à compressão, que é medida pela tensão. Tensão de acordo com Adão e Hemerly (2010), nada mais é do que a relação entre força e área, ou seja, uma medida de força por determinada unidade de área. A unidade tradicional de tensão para o concreto é dada por kg/cm², sendo adotado assim como unidade universal MPa (Megapascal).

Segundo Carvalho e Figueiredo (2015), muitas das características e propriedades que o concreto endurecido apresenta, dependem do planejamento e cuidados de sua execução. Para os autores o passo a passo é o seguinte: são definidas as propriedades desejadas, análise e escolha de materiais que melhor compõe a mistura, o traço ideal bem como a mistura e os equipamentos de transporte e utilização.

Quando o concreto é convenientemente tratado, seu endurecimento continua a desenvolver-se durante muito tempo após haver adquirido a resistência suficiente para a obra e torna-se mais forte ao invés de enfraquecer. Esse aumento contínuo de resistência é qualidade peculiar do concreto que o distingue dos demais materiais de construção (AZEREDO, 1997, p.53).

2.3.1 Dosagem

Cada obra possui suas particularidades, um tipo de concreto utilizado em alguns tipos de obras não se aplica a outras. Na execução de qualquer obra, é necessário sempre estar atento a sua finalidade, para assim então se definir o tipo de concreto adequado para determinada situação. Cada finalidade de uso do concreto implica em um traço específico que determina uma resistência do material, obtida por meio de uma dosagem racional dos materiais constituintes do concreto (AZEREDO, 1997).

Para Azeredo (1997), na dosagem racional tanto os materiais constituintes como o produto resultante são previamente ensaiados em laboratório. O autor afirma que realizar um acompanhamento técnico e cauteloso da qualidade do material a ser empregado bem como a sua proporção correta na aplicação do traço são fatores que influenciam na qualidade do produto final.

Outro fator muito importante na mistura do concreto é a quantidade de água, Adão e Hemerly (2010) explicam que a água é tão importante que, em uma areia que possua alguma umidade, a quantidade de água que esse material possui deve ser medida e descontada da quantidade de água na mistura. Segundo eles, quanto menor a quantidade de água, ou seja, menor o fator água/cimento, melhor será a resistência do concreto.

2.3.2 Concreto Fresco

O concreto fresco segundo Bauer (2015) é constituído de agregados miúdos e graúdos envolvido por pasta de cimento e espaços cheios de ar. O autor destaca que as principais características do concreto nesse estado são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade. Para Carvalho e Figueiredo (2015), o maior objetivo do concreto é ter um material predominantemente sólido, com grande resistência e poucos espaços vazios, obtido por meio da hidratação do cimento tendo em vista que a pasta possa envolver e aderir os sólidos presentes no maciço.

Uma etapa particularmente importante na fabricação do concreto e na sua moldagem de estrutura, e que interfere sensivelmente nas suas características finais, é o adensamento a que ele é submetido, de modo a ocupar todos os espaços da forma, sem deixar vazios e sem que haja a

segregação dos seus materiais componentes. Outro fator que interfere nas propriedades do concreto e na qualidade e durabilidade da estrutura é a cura a que ele deve ser submetido logo após o adensamento e início da pega (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.30).

2.3.2.1 Consistência

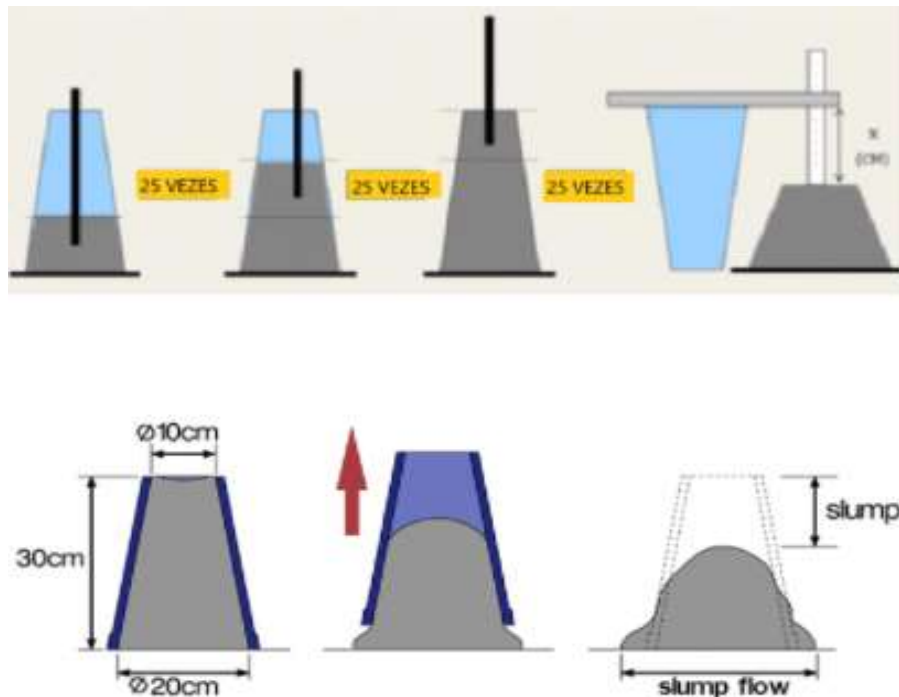
Consistência para Carvalho e Figueiredo (2015), é a propriedade do concreto fresco que deve ser considerada, pois corresponde à maior ou menor capacidade que o concreto tem de se deformar. A propriedade pode ser relacionada aos processos de transporte, lançamento e adensamento do concreto, variando com a quantidade de água na mistura, granulometria dos materiais e também o uso de produtos químicos no processo (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

2.3.2.2 Trabalhabilidade

Bauer (2015) diz que a trabalhabilidade varia de acordo com a finalidade do concreto, ou seja, cada finalidade do concreto implica em uma característica de trabalhabilidade e que ao se discutir a trabalhabilidade de um concreto em termos gerais, está implícita a necessidade de que a mistura seja estável e não segregue facilmente.

Como ferramenta de estimativa dos parâmetros dessa característica do concreto utilizamos o ensaio de *slump test*, ensaio utilizado para liberação do concreto em obra pela análise dos parâmetros de consistência e trabalhabilidade desejados. A Figura 1 ilustra o procedimento do teste de abatimento de cone e a Tabela 2 relaciona algumas classes de consistência do concreto com aplicações típicas.

Figura 1 - Teste de abatimento do tronco de cone - slump test



Fonte: Neoipsum (2022).

O ensaio é realizado da seguinte maneira, explica Bauer (2015):

Num molde de chapa metálica, com forma de tronco de cone de 20 cm de diâmetro na base, 10 cm no topo e 30 cm de altura, apoiado numa superfície rígida, o concreto fresco é moldado em três camadas iguais, adensadas, cada uma com 25 golpes, por uma barra de 16 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento [...]. Em seguida o molde é retirado verticalmente, deixando o concreto sem suporte lateral. Sob a força da gravidade, a massa abate mais ou menos simetricamente, aumentando seu diâmetro médio, enquanto sua altura diminui [...]

Tabela 2 - Classe de consistência do concreto

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações Típicas
S10	$10 \leq A \leq 50$	Concreto extrusado, vibro prensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A \leq 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A \leq 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A \leq 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	> 220	Elementos Estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015).

Cada tipo de utilização de concreto implica em uma certa trabalhabilidade, não só por questões de facilitação do serviço, mas também para a garantia de que o concreto ocupe todos os espaços vazios após sua vibração. Botelho e Marchetti

(2015) afirmam que para que o concreto ocupe bem as formas, ele tem de ter plasticidade (trabalhabilidade). Os autores afirmam que o elemento que faz aumentar a plasticidade da mistura é a água. Ao adicionar água a um concreto, seu *slump* e conseqüentemente sua plasticidade também aumentarão. Porém é necessário ficar atento ao nível de água, se for adicionada muita água na mistura do concreto com o objetivo de aumentar sua plasticidade, pode acabar influenciando na diminuição da resistência e durabilidade da estrutura (BOTELHO; MARCHETTI, 2015).

2.3.2.3 Homogeneidade

Um concreto é dito homogêneo quando ele apresenta a mesma composição em qualquer ponto de toda a sua massa. A homogeneidade está diretamente relacionada com a distribuição dos agregados graúdos dentro da massa de concreto e é um fator importantíssimo na interferência da qualidade do concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

Carvalho e Figueiredo (2015) explicam que quanto mais uniformes e regulares os agregados presentes na massa, estando eles envolvidos pela pasta não apresentando desagregação, melhor será a qualidade do concreto quanto a permeabilidade e proteção da armadura. Os autores afirmam que quanto melhor a distribuição dos agregados no concreto, ou seja, quanto mais homogêneo o concreto, melhor será a qualidade da estrutura.

Uma homogeneidade satisfatória pode ser conseguida com uma boa mistura do concreto durante a etapa de fabricação, um cuidadoso transporte até o local de utilização da estrutura e, também, tomando-se cuidados no lançamento do concreto, nas formas e no adensamento (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.31).

2.3.2.4 Adensamento

O adensamento do concreto consiste na movimentação do material, tendo a finalidade de diminuir o número de vazios, bolhas de ar e excesso de água no interior da massa, de tal forma que se obtenha um concreto denso e compacto (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2015) para que seja atingido um adensamento satisfatório, o processo mais simples e usual é a vibração mecânica,

obtida pela imersão de vibradores na massa de concreto. Ainda segundo os autores, em concreto plástico, com abatimento entre 5 e 12 cm com espessura máxima a ser adensada de 20 cm, o adensamento pode ser realizado de maneira manual. O procedimento consiste basicamente em vibrar o concreto até o momento de aparecimento de uma camada lisa de cimento e elementos finos do concreto na superfície do mesmo.

Segundo Bauer (2015) o adensamento mecânico é preferível pelo fato de possuir maior eficiência. É muito importante obter um bom adensamento do concreto, pois a porcentagem de vazios tem influência direta na resistência do concreto.

2.3.2.5 Pega do Concreto

Botelho (2015) define o início da pega do concreto como o momento em que, após a adição de água, começam as reações químicas de cristalização do cimento que culminam no endurecimento e na solidificação da mistura. Carvalho e Figueiredo (2015) explicam:

O endurecimento do concreto começa poucas horas após sua produção, e o período entre o início do endurecimento até ele atingir uma situação que possa ser deformado, mesmo sem ter atingido sua resistência total é chamado de “pega”. Usualmente, define-se o início da pega quando a consistência do concreto não permite mais sua trabalhabilidade, ou seja, não é mais possível lançá-lo nas formas e adensá-lo.

O momento de início da cristalização ou do endurecimento é chamado de tempo de início de pega. Segundo Aoki (2010) no concreto, este tempo determina o período útil que temos para terminar o processo de aplicação, ou seja. Compreende desde a mistura dos materiais – contato da água com o cimento até o seu adensamento e acabamento final.

Logo após o início da pega, a hidratação do concreto desenvolve-se rapidamente e água da mistura começa a evaporar pelos poros do material (AOKI, 2010).

2.3.2.6 Cura do Concreto

Com o início da evaporação da água do concreto, pode haver um comprometimento no processo de hidratação do cimento fazendo com que o concreto sofra perda de volume (retração), que é parcialmente resistida pelas formas e armaduras, gerando esforços de tração que não são resistidos pelo concreto, principalmente por conta da sua pouca idade. Esse processo pode acarretar por gerar fissuras no concreto, que levam a diminuição da resistência final que deveria ser atingida pelo mesmo (BOTELHO, 2015).

É necessário tomar medidas que evitam a evaporação precoce ou, até mesmo, o fornecimento de água ao concreto, de modo a conservar a umidade necessária para as reações de hidratação até que as propriedades esperadas, para esse concreto sejam atingidas. Ao conjunto dessas medidas dá-se o nome de cura (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.33).

Geralmente a cura consiste em molhar as superfícies aparentes do concreto ou de forma constante as faces da forma dos elementos, evitando a secagem desta (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

Segundo a ABNT NBR 14931:2014, o concreto deve ser curado e protegido até não atingir seu endurecimento satisfatório, a fim de:

- a) Evitar perda de água pela superfície exposta;
- b) Assegurar uma superfície com resistência adequada;
- c) Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

3.2.3 Concreto Endurecido

A resistência do concreto pode ser considerada principalmente como sendo função da resistência do agregado, da ligação da pasta com o agregado e da resistência da pasta de cimento endurecida (NEVILLE, 2016).

De acordo com Neville (2016) a resistência da pasta de cimento endurecida depende basicamente do seu grau de hidratação e de sua porosidade. Para o autor a porosidade é quem tem maior influência sobre a resistência e é medida pela relação água/cimento. Quanto maior for a relação menor será a sua resistência e quanto menor for o fator a/c maior será a sua resistência.

As propriedades características mais interessantes do concreto endurecido são as mecânicas, com destaque para as resistências à tração e à compressão. Segundo Carvalho e Figueiredo (2015), a resistência do concreto varia também em função do tempo de duração da solidificação na qual foi submetido o mesmo.

2.3.3.1 Resistência à Compressão

Carvalho e Figueiredo (2015) dizem que fatores como a relação água/cimento, o traço do concreto e a idade do concreto influenciam na resistência do concreto endurecido. De acordo com eles, a resistência à compressão é definida como sendo a principal característica do concreto.

O dimensionamento mais simples é o da compressão. Principalmente o da compressão pura, sem flexão, quando a carga normal coincide com o centro de gravidade do elemento sujeito a esta força normal. O dimensionamento à compressão consiste em distribuir parte da força normal para o concreto e parte para o aço. A porcentagem para um e outro está definida em norma (ADÃO; HEMERLY, 2010, p.16).

Para determinação das resistências são utilizados ensaios em corpos de prova normatizados. Carvalho e Figueiredo (2015) explicam que:

A resistência à compressão do concreto deve ser relacionada à idade de 28 dias e será estimada a partir do ensaio de determinada quantidade de corpos de prova. A moldagem dos cilindros é especificada pela ABNT NBR 5738:2003 (emenda 1:2008), e o ensaio deve ser feito de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.34).

Para avaliar a resistência de um concreto quanto à compressão, deve-se ensaiar uma série de corpos de prova. Os valores obtidos pelos ensaios são mais ou menos dispersos. Segundo Carvalho e Figueiredo (2015), como se tem mais de um corpo de prova para o mesmo concreto, pode-se adotar um valor da média aritmética dos valores obtidos nos ensaios.

Define-se como resistência característica (f_{ck}) do concreto à compressão o valor que representa um grau de confiança de 95%, ou seja, f_{ck} é o valor da resistência, de modo que 95% dos resultados dos ensaios estejam acima dele, ou 5% abaixo (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.35).

2.3.3.2 Resistência à Tração

Diferente da boa resistência à compressão, a resistência aos esforços de tração do concreto é baixa. Normalmente nos dimensionamentos não é levado em consideração a ajuda dessa força, mas segundo Carvalho e Figueiredo (2015), essa resistência pode estar ligada com a capacidade resistente da peça, como as sujeitas ao esforço cortante, fissuração, sendo importante conhecê-la.

A resistência à tração do concreto é estimada em cerca de 10% da resistência à compressão. Inicialmente os esforços de tração aplicados em uma peça são resistidos pelo concreto, quando as tensões ultrapassam o valor resistente pelo concreto, este começa a fissurar. O objetivo da utilização do aço na estrutura tem como objetivo de que à medida que vá ocorrendo essa pequena fissuração, os esforços de tração sejam transmitidos ao aço (ADÃO; HEMERLY, 2010).

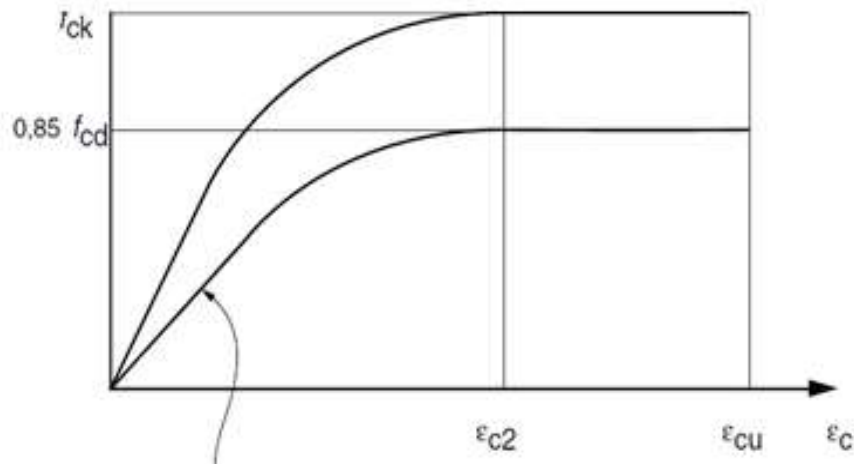
2.3.3.3 Módulo de Elasticidade do Concreto

O módulo de elasticidade é a principal característica de um material no que diz a sua deformabilidade (alongamento ou encurtamento), quando este está sendo tracionado ou comprimido (BOTELHO; MARCHETTI, 2015).

Botelho e Marchetti (2015) afirmam que é muito importante tomar cuidado ao analisar o módulo de elasticidade dos materiais, segundo os mesmos, tendo conhecimento do módulo de elasticidade de qualquer material, pode-se saber como o tal reage às solicitações. A Figura 2 retrata o diagrama tensão-deformação do concreto.

O módulo de elasticidade é uma grandeza mecânica que mede a rigidez de um material sólido, podendo ser definido a partir de relações entre tensões e deformações, de acordo com os diagramas de tensão-deformação (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.38).

Figura 2 - Diagrama tensão-deformação



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

2.4 CARACTERÍSTICAS DO AÇO

Embora o concreto simples seja um excelente material utilizado na construção civil por possuir excelente resistência à compressão, Adão e Hemerly (2015) afirmam que a grande revolução do material junto a construção é o concreto armado. Segundo os autores o uso do aço no concreto foi um fator importantíssimo para o desenvolvimento da construção, tornando-se possível graças a quase perfeita aderência entre os dois materiais.

Assim como o concreto, o aço possui características de importante destaque a serem estudadas a fim de se chegar a melhor utilização das qualidades que o material tem a oferecer. Carvalho e Figueiredo (2015) citam que as características mais importantes para a definição de um aço, obtidas em ensaios de tração, são: resistências características, de escoamento, limite de resistência e alongamento na ruptura.

A classificação do aço, bem como seus diâmetros de seções transversais nominais de barras e fios são estabelecidos por norma. Segundo Carvalho e Figueiredo (2015) o aço possui patamar de escoamento definido e o ϵ_{yd} (valor da deformação específica) de cálculo pode ser obtido conforme Equação 1.

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (1)$$

Onde:

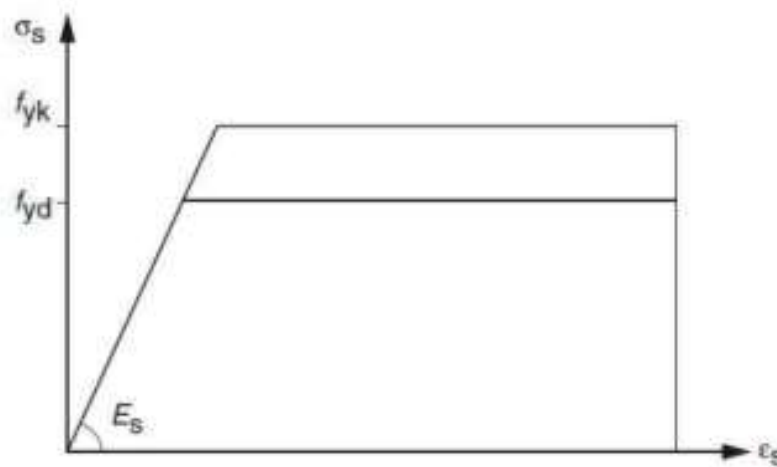
E_s - módulo de elasticidade do aço (210.000 MPa)

F_{yd} - tensão de escoamento de cálculo do aço ($f_{yk}/1,15$)

F_{yk} - resistência característica do aço a tração.

Na Figura 3 é mostrado o diagrama tensão-deformação para armaduras passivas.

Figura 3 - Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

2.4.1 Resistência Característica do Aço à Tração (f_{yk})

É a máxima tensão suportada pelo aço dentro do seu limite elástico. Após esse estágio todas as tensões absorvidas pelo aço acabam ocasionando deformações permanentes. Até a aplicação desse valor de tensão o aço sofre deformação, mas cessada a mesma, o material volta ao seu tamanho inicial sem apresentar nenhum tipo de deformação permanente (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

2.4.2 Limite de Resistência (f_{stk})

Trata-se da máxima força suportada pelo aço, é o ponto máximo de resistência do material. A tensão máxima do material é a relação entre a força de ruptura e a área da seção transversal da barra ou fio de aço (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

2.4.3 Alongamento na Ruptura

É definido por Carvalho e Figueiredo (2015) como o aumento do comprimento do corpo de prova correspondente à ruptura, podendo ser expresso em porcentagem por meio da Equação 2.

$$\varepsilon = \frac{(l_1 - l_0)}{l_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

l_0 – comprimento inicial do corpo de prova;

l_1 – comprimento final do corpo de prova.

2.5 ADERÊNCIA AÇO CONCRETO

Para Carvalho e Figueiredo (2015) a aderência é o fenômeno que permite o funcionamento do concreto armado como elemento estrutural. Sem aderência, as barras da armadura não seriam submetidas aos esforços de tração, pois deslizariam dentro da massa de concreto e a estrutura se comportaria como sendo apenas de concreto simples. A aderência faz com que os dois materiais, de resistências diferentes, tenham a mesma deformação e trabalhem juntos, de modo que os esforços, resistidos por uma barra de aço sejam transmitidos para o concreto e vice-versa (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

Como as barras de aço possuem uma limitação de comprimento, para a transferência de esforços entre as barras deve ser transpassado um determinado comprimento, este chamado de comprimento de ancoragem. Carvalho e Figueiredo (2015) afirmam que todas as barras da armadura devem ser ancoradas de forma que os esforços sejam integralmente transmitidos ao concreto, seja por meio da aderência, dispositivos mecânicos ou ambos.

Carvalho e Figueiredo (2015) ainda explicam que pode existir três tipos de aderência entre o concreto e o aço.

- a) Aderência por adesão: aderência a qual ocorre entre o aço e a nata de cimento, a mesma provém da adesão ou de forças capilares. Este tipo de aderência depende muito da rugosidade e da limpeza da superfície das

armaduras, o mesmo, isoladamente, não é suficiente para uma boa ligação (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

- b) Aderência por atrito: ocorre na superfície entre o aço e o concreto, manifestando-se quando há deslocamento entre os materiais. Segundo Carvalho e Figueiredo (2015) o mesmo é favorecido pelo efeito de retração do concreto, visto que é maior quanto maior a pressão exercida pelo concreto no aço.
- c) Aderência Mecânica: realizada por meio de um engrenamento mecânico entre a superfície da barra e o concreto, sendo solicitado ao corte antes que a armadura possa deslizar no concreto (LEONHARDT; MONNING, 2008).

2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO ARMADO

Assim como outros materiais, a utilização do concreto armado como matéria prima de elementos estruturais tem vantagens e desvantagens, Carvalho e Figueiredo (2015) destacam algumas vantagens:

- a) O concreto fresco possui boa trabalhabilidade, ou seja, o material é fácil de ser adensado e pode ser conformado de várias maneiras e formatos, permitindo grande arranjo arquitetônico;
- b) Quando comparado, em muitas ocasiões, o concreto apresenta maior vantagem econômica com relação a outros materiais;
- c) A utilização do concreto armado permite a obtenção de uma estrutura monolítica, em função do seu alto grau de hiperestaticidade e por conta de suas ligações rígidas;
- d) O material possui boa resistência a choques, efeitos térmicos e atmosféricos.

Do mesmo modo que o material apresenta inúmeros pontos positivos, o mesmo apresenta alguns pontos desfavoráveis. Carvalho e Figueiredo (2015) citam:

- a) O concreto armado apresenta um peso específico alto, em torno de 25 kN/m³;
- b) Reformas e demolições são de difícil execução;
- c) O concreto armado possui baixo isolamento térmico e acústico.

2.7 REQUISITOS DE QUALIDADE DE ESTRUTURAS E PROJETOS DE CONCRETO ARMADO

A fim de que se obtenha qualidade e durabilidade nas estruturas de concreto armado, a ABNT NBR 6118:2014, dispõe de alguns critérios de qualidade. Segundo a norma, são classificados como requisitos de qualidade da estrutura a sua capacidade resistente, seu desempenho em serviço e sua durabilidade.

Essas três características juntas, devem ser objeto de estudo de um bom projeto de estruturas em concreto armado. O projeto para se ter qualidade, deve considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais e de integração com os demais projetos complementares (AZEREDO, 1997).

2.7.1 Estado Limite Último e de Serviço

Ao se fazer o dimensionamento de uma estrutura, deve-se assegurar que a mesma irá cumprir dois critérios, os critérios de ruptura e serviço. Botelho e Marchetti (2015) afirmam que critério de ruptura é referente ao fato de que a estrutura deve ser dimensionada de maneira que não alcance, em nenhuma hipótese, sua ruptura. Essa situação contra ao colapso é relacionada ao Estado Limite Ultimo (ELU).

O critério de serviço refere-se a característica de utilização da estrutura. Neste, a edificação deve satisfazer as condições satisfatórias de comportamento sob a ação das cargas de utilização. Essa condição da estrutura é relacionada ao Estado de Limite de Serviço (ELS) (PFEIL, 1985).

Desse modo, é estabelecido que o dimensionamento de todos os elementos estruturais de concreto armado deve ser realizado considerando o Estado Limite Último, respeitando uma margem de segurança, garantida pela aplicação de um coeficiente de segurança. Por meio dessa consideração, pode-se inferir que os materiais e suas características de resistência deverão ser aproveitados ao máximo (BOTELHO; MARCHETTI, 2015).

Segundo Carvalho e Figueiredo (2015) ao evitar o superdimensionamento da estrutura e definir que as tensões atuantes nos elementos estruturais não ultrapassem o ELU, procura-se obter uma estrutura econômica e segura.

Desta maneira, é adotado o valor f_k , inf (valor inferior da resistência característica), o qual apresenta 5% de possibilidade de não ser atingido em elementos de um mesmo lote desse material.

2.7.2.2 Resistência de Cálculo

As resistências de cálculo são obtidas por meio da aplicação do coeficiente de minoração das resistências sobre os valores de f_k dos respectivos materiais. A resistência pode ser obtida por meio da utilização Equação 3.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (3)$$

Onde:

f_d - resistência de cálculo;

f_k - resistência característica;

γ_m - coeficiente de minoração.

2.8 PROJETO ESTRUTURAL

O projeto de uma estrutura de concreto armado parte da premissa de que a mesma deverá suportar de forma segura, estável e sem deformações excessivas as solicitações as quais estará submetida, ou seja, o dimensionamento consiste em impedir a ruína dos elementos que compõe a estrutura. Carvalho e Figueiredo Filho (2015) afirmam que ruína não é interpretada apenas como sendo a ruptura, mas também limitações de uso da estrutura, fissuras inaceitáveis e deformações excessivas.

Segundo os autores, um dimensionamento adequado não garante somente a segurança dos usuários, mas também a vida útil da estrutura e seus elementos, a finalidade do cálculo estrutural é garantir, com segurança adequada, que a estrutura mantenha características que possibilitem a utilização satisfatória da construção para as finalidades que foi concebida.

Durante a vida útil, as estruturas são solicitadas por cargas, permanentes e variáveis. As solicitações permanentes, em sua maioria, são conhecidas e fáceis de

serem calculadas, porém, algumas cargas tendem a ser estimadas, como por exemplo o vento, que não possui uma incidência exata, sendo calculada dentro de certos limites com dispersões determinadas ou estabelecendo valores máximos probalísticos. Além dessas, existem também as cargas acidentais, que são estimadas e normatizadas de acordo com o tipo de utilização (LEONHRDT; MONNING, 2008).

Alguns dos exemplos de solicitações que as estruturas são projetadas a suportar são o momento fletor, esforços cortantes, forças normais e momento torsor. Segundo Soriano (2014) as ações que atuam nas estruturas podem ser forças, deformações impostas ou de comportamento do material no tempo e variação de temperatura.

2.8.1 Elementos da estrutura

Pós concretagem, todos os elementos ficam praticamente unidos, formando a estrutura. A estrutura é composta basicamente por: lajes, vigas e pilares. A ABNT NBR 6118:2014, define os elementos da estrutura como sendo aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura.

2.8.1.1 Lajes

Lajes são elementos estruturais planos as quais se caracterizam por ter uma das dimensões muito menor que as outras duas, representada pela espessura. Tem a função de receber as cargas de utilização da edificação e distribuí-las entre os elementos estruturais (BASTOS, 2021).

Existem “n” tipos de configurações, porém há basicamente uma divisão entre lajes maciças (objeto de dimensionamento deste trabalho) e pré-moldadas. Adão e Hemerly (2010), afirmam que as lajes do tipo tracionadas e concreto armado são denominadas maciças. Segundo Spohr (2008), esse tipo de laje são as mais utilizadas nas construções de concreto armado, possuindo como uma das características específicas a grande quantidade de vigas, que conseqüentemente geram grandes quantidades de pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura. Lajes pré-moldadas são utilizadas para vencer pequenos e médios vãos e cargas não muito elevadas (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2015).

2.8.1.2 Vigas

Vigas são definidas como elementos lineares em que o esforço de flexão é preponderante. Possuem, a característica de comprimento maior que as dimensões da seção transversal. Em um modelo estrutural, as vigas servem de apoio para as lajes. As lajes transferem cargas distribuídas e uniformes sobre as vigas, sendo que as vigas que se apoiam em outra viga geram uma carga concentrada. As cargas que atuam sobre as vigas, se dividem em peso próprio e cargas de paredes sobre a viga, além da carga transmitida pelas lajes (ADÃO; HEMERLY; 2010).

A ABNT NBR 6118:2014, afirma que as vigas não devem apresentar em sua seção transversal largura menor que 12 cm e, 15 cm em caso de viga-parede. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10cm em casos excepcionais.

2.8.1.3 Pilares

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Os pilares visam absorver, principalmente, todas as cargas verticais que atuam sobre um pavimento (teto ou piso) de um prédio. As cargas são, de uma maneira geral, transmitidas por ações das vigas. O peso próprio dos pilares também fornece carga vertical, apesar do valor ser pequeno em comparação ao cômputo geral das cargas (ADÃO; HEMERLY, 2010, p. 115).

Os pilares podem ser classificados quanto a sua posição em planta. Quando posicionado nos extremos de duas vigas em ambas as direções, recebe a denominação de pilar de canto. Neste caso, o pilar é dimensionado à flexão composta oblíqua e devem ser consideradas excentricidades iniciais nas duas direções.

São classificados pilares de extremidades, aqueles em que apenas uma direção do pilar apoia o extremo de uma viga. Neste caso deve ser levado em consideração momento fletor e excentricidade inicial, o mesmo será dimensionado a esforço de flexo-compressão normal. Existem também casos em que o pilar não serve

de apoio de extremidade de vigas em nenhuma direção, são denominados então pilares intermediários e seu dimensionamento é realizado considerando apenas compressão simples.

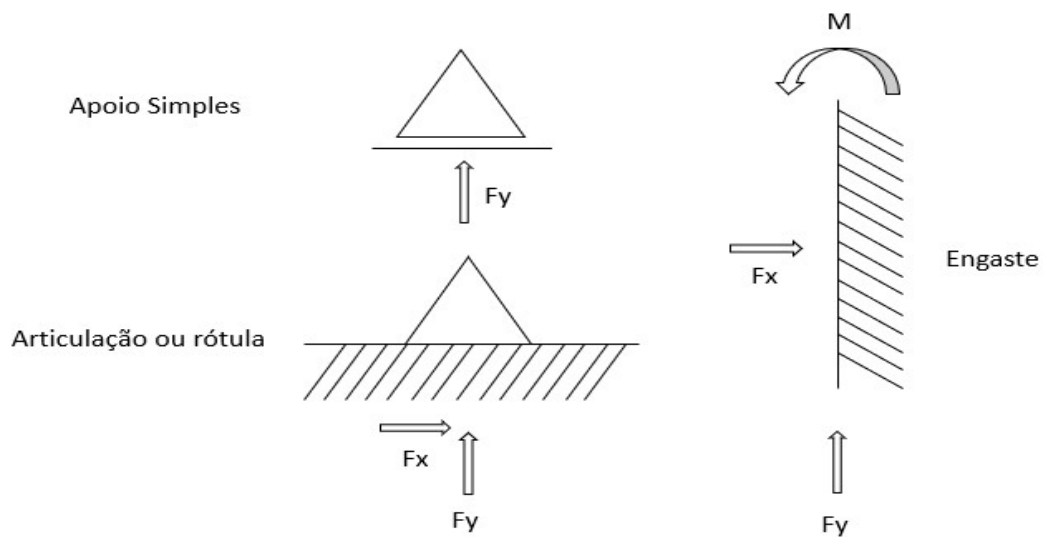
A ABNT NBR 6118:2014, afirma que os pilares não devem ter dimensões menores que 19 cm. A mesma ainda menciona que, em casos especiais, podem ser projetados pilares com dimensões menores que o mínimo, desde que seja inferior a 4 cm. Nessas situações deve ser considerado no dimensionamento um coeficiente adicional, denominado de γ_n na determinação dos esforços solicitantes de cálculo. A norma complementa afirmando que os pilares não podem ter seção transversal menor que 360 cm².

2.8.2 Apoios nas estruturas

O conceito de apoio é mais utilizado no cálculo das vigas, pois mesmo que tenha efeito para todas as ligações, é na viga que ficam explícitos de melhor forma os conceitos. Os apoios têm concepção teórica, visto que na prática pode não ocorrer como concebido. Segundo Adão e Hemerly (2010), os apoios têm a função de impedir o deslocamento dos elementos e se dividem em três tipos: apoio simples, rótula e engaste.

A Figura 5 exemplifica os tipos de apoios, sendo que o apoio simples impede o deslocamento em apenas uma direção, horizontal ou vertical, a articulação ou rótula impede os dois deslocamentos mencionados anteriormente e o engaste, além do deslocamento, impede o movimento de rotação.

Figura 5 - Tipos de apoios



Fonte: AUTOR (2022)

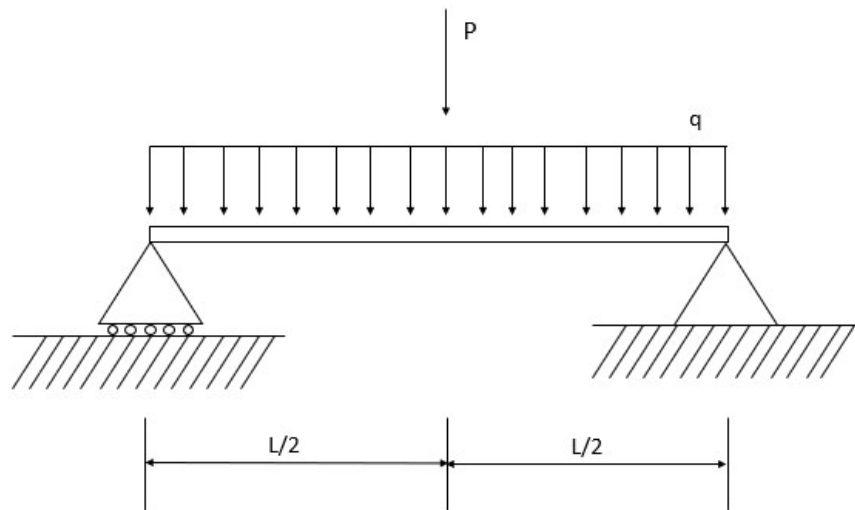
Para garantir que uma estrutura ou elemento estrutural permaneçam na posição desejada sob todas as condições de carregamento, eles são fixados em uma fundação ou conectados a outros membros estruturais por meio de apoios (LEET; UANG; GILBERT, 2014, p. 81).

2.8.3 Cargas distribuídas e concentradas

Ao calcular uma viga, por exemplo, deve-se considerar quais cargas são atuantes na mesma para então se determinar seus esforços. As cargas que atuam nas estruturas podem ser simplificadas em cargas concentradas e distribuídas. Segundo Adão e Hemerly (2010), a carga distribuída é convencionada como aplicada por unidade de comprimento. Cargas concentradas são consideradas pontuais por simplificação. Na prática ocorre um estado de tensões sobre a peça, como esse estado tem um valor alto de tensões, as cargas são consideradas como concentradas.

A Figura 6 exemplifica uma viga simples, biapoiada com uma carga P concentrada, aplicada no centro da mesma e uma carga Q , distribuída uniformemente ao longo toda a extensão da viga.

Figura 6 - Carga concentrada e distribuída



Fonte: AUTOR (2022)

3.8.3.1 Cargas Permanentes, Acidentais e Excepcionais

A ABNT NBR 6120:1980 afirma que a carga permanente é constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Ainda, segundo a mesma norma, uma carga acidental é definida como toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, veículos, etc.).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as ações excepcionais têm uma duração extremamente curta, e uma probabilidade muito baixa de ocorrer durante a vida útil da construção. Ações como estas são quantificadas por meio de valores representativos, valores característicos nominais, valores reduzidos de combinações. Valores convencionais excepcionais, valores raros ou reduzidos de serviço (ABNT,2003).

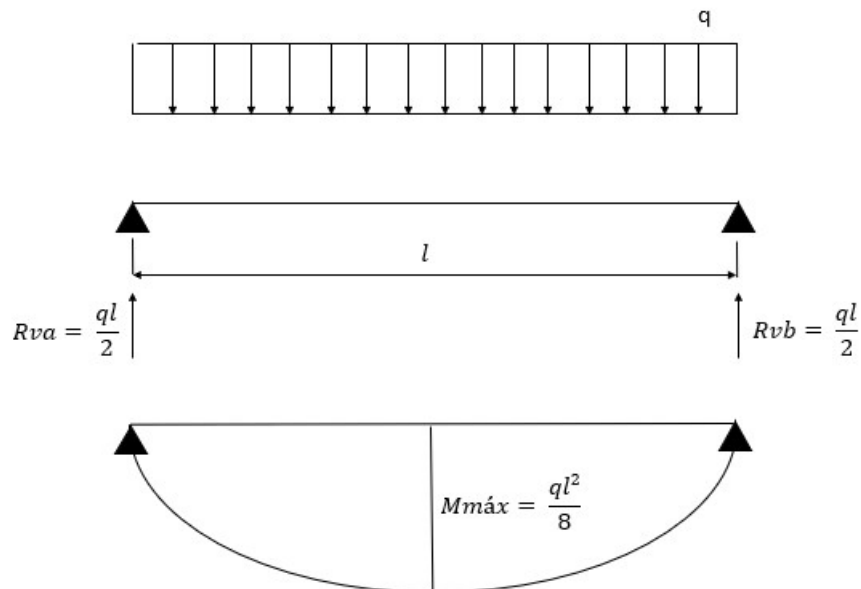
Os valores de base, tanto de cargas permanentes, acidentais e excepcionais estão tabelados na referida norma.

3.8.4 Momento fletor

Segundo Adão e Hemerly (2010), numa peça sujeita a cargas, para uma dada seção transversal ao seu eixo principal, o momento fletor é definido como sendo igual ao somatório algébrico de todos os momentos simples, provenientes de todas as forças (concentradas e distribuídas) de um mesmo lado da seção considerada.

A Figura 7 representa uma viga biapoiada simples submetida a uma carga q distribuída ao longo de seu comprimento e o momento fletor atuante na mesma.

Figura 7 - Viga biapoiada com carga distribuída e Diagrama de Momento Fletor



Fonte: AUTOR (2022)

Por se tratar de uma viga biapoiada, o Momento Máximo está localizado no centro do vão ($l/2$) e pode ser calculado rapidamente por meio da Equação 4.

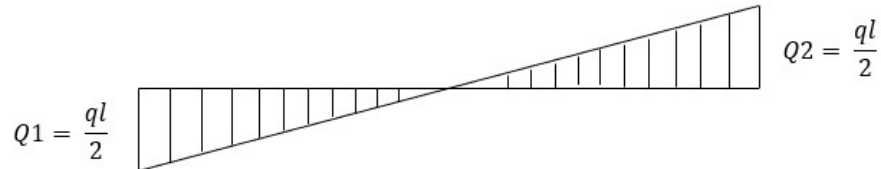
$$Mmáx = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (4)$$

2.8.5 Esforço Cortante

Esforço cortante é tido como o somatório algébrico de todas as componentes paralelas a sua seção transversal, de todas as forças, concentradas e distribuídas, num mesmo lado da seção considerada (ADÃO; HEMERLY, 2010).

Na Figura 8 é mostrado o diagrama de esforço cortante da mesma viga biapoiada exemplificada anteriormente.

Figura 8 - Diagrama de Esforço Cortante



Fonte: AUTOR (2022)

Para a situação em questão, o esforço cortante pode ser obtido por meio da Equação 5.

$$Q1 = Q2 = \frac{q \cdot l}{2} \quad (5)$$

2.8.6 Durabilidade das estruturas de concreto armado

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas e constituídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil.

Carvalho e Figueiredo Filho (2015) afirmam que a agressividade do meio ambiente é uma das principais responsáveis pela perda da qualidade e durabilidade das estruturas.

A ABNT NBR 6118:2014 expõe a tabela que se encontra no seu item 6.4.2, representado pela Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	

¹ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

² Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 18).

A norma ainda traz relações das classes de agressividade ambiental com o fator água-cimento, comparando com a classe do concreto e também com o cobrimento. As Tabelas 4 e 5 descrevem a seguir:

Tabela 4 - Relação entre Classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,60	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p.19).

Tabela 5 - Relação entre Classe de agressividade e cobrimento

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Lajes ²	20	25	35	45
	Viga/ Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido ¹	Todos	30	35	45	55

¹ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

² Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal \geq 15 mm.

³ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal de \geq 45 mm.

Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos podem ser reduzidos em até 5 mm.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p.20).

3 METODOLOGIA

Para o estudo em questão foi considerado como base uma residência multifamiliar de 3 pavimentos, construída sem projeto estrutural, localizada na cidade de Bombinhas/SC. Como a mesma não possui projeto arquitetônico e nem complementares, o primeiro passo, através de observações *in loco*, foi a realização do projeto arquitetônico em AutoCAD, para fim de identificação dos elementos que constituem a estrutura, tais como escadas, tipo de cobertura, delimitações e utilização dos cômodos existentes.

3.1 ANÁLISE ESTRUTURAL POR MEIO DE SOFTWARE

A determinação das ações atuantes sobre a estrutura é de fundamental importância para que se desenvolva a análise estrutural que dará origem ao projeto estrutural. Esta análise tem como objetivo principal definir os efeitos das ações que atuam na estrutura e verificar se elas ultrapassam os estados limite último e de serviço (ABNT, 2014). A referida norma ainda ressalta que a complexibilidade do projeto determina se há necessidade de mais de um modelo estrutural para realizar as verificações estruturais previstas.

Souza (2017), afirma que softwares de análise em elementos finitos são utilizados, separando as análises pontuais em determinadas regiões, discretizando os elementos estruturais. Com a utilização do programa adequado para a situação, e a inserção dos elementos da estrutura e suas geometrias, carregamentos atuantes e as propriedades dos materiais, tem-se o modelo estrutural (ALTOQI, 2022).

3.1.1 Software AltoQI Eberick

O software Eberick foi desenvolvido com o intuito de elaborar projetos estruturais, por meio de recursos que abrangem todas as etapas do projeto. As estruturas projetadas podem ser de diferentes métodos construtivos, como moldadas *in loco*, pré-moldadas, de alvenaria estrutural, e do tipo mista (ALTOQI, 2022).

Segundo a AltoQI (2022), o software permite a utilização em variadas estruturas, por conta da vasta gama de ferramentas oferecidas pelo mesmo. O

programa abrange as etapas de modelagem, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento. Algumas das estruturas as quais o software permite a utilização, são:

- Obras residenciais: casas populares, edifícios e casas de alto padrão;
- Obras de infraestrutura: passarelas, aeroportos, tanques e reservatórios;
- Obras especiais, escolas, estádios de futebol, quadras de esportes e hospitais.

O software possui uma interface simples e intuitiva, proporcionando uma fácil adaptação ao programa. No mesmo é possível realizar as etapas de lançamento da estrutura, análise linear, dimensionamento e detalhamento dos elementos. Souza (2017) cita que um fato muito interessante do software é que o mesmo é dividido em módulos, o que proporciona um nível mais alto de customização do projeto de acordo com as necessidades de cada caso analisado.

3.2 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA

Com a análise do projeto arquitetônico, é possível realizar um pré-dimensionamento estrutural dos elementos de concreto armado, por meio da definição de dimensões prévias para cálculo dos mesmos. Com essa definição, alimenta-se o programa de cálculo estrutural com a arquitetura quanto com os elementos estruturais.

Atualmente, todos os dimensionamentos, cálculos matemáticos, são realizados via softwares. Porém, cabe ao calculista o lançamento da estrutura no sistema e revisão do projeto junto ao mesmo. Os desenhos, assim como os cálculos também são feitos por meio do computador, tornando apenas a análise estrutural como um trabalho manual (ADÃO; HEMERLY, 2010).

“É imprescindível ter o projeto completo de arquitetura para elaborarmos o projeto estrutural. Com o projeto de arquitetura, elaboramos o lançamento da estrutura. Com a estrutura lançada para todos os níveis, efetuamos a análise estrutural, reproduzindo no computador as lajes, vigas e pilares pré-dimensionados” (ADÃO; HEMERLY, 2010, p. 37).

Ainda segundo os autores, no lançamento da estrutura, procura-se coincidir as vigas com as alvenarias, de modo que a distância seja de aproximadamente dois metros entre duas vigas paralelas sequenciais, e cerca de cinco ou seis metros (em média), até oito para a distância confortável considerando concreto armado, deste modo, os vãos das lajes ficam situados dentro deste intervalo. A disposição das vigas é feita de forma aleatória, sendo que nem todas as alvenarias definem as vigas. As lajes devem ser de preferência retangulares, em virtude do cálculo tradicional ser mais simples para essa configuração. Dessa forma, nota-se que a distância entre duas vigas paralelas subsequentes dará uma das dimensões da laje.

A disposição dos pilares é dada de forma que o vão livre das vigas não fique muito extenso, o que provoca consideravelmente o aumento das dimensões da seção da mesma. Os mesmos devem ser posicionados preferencialmente em locais que possam existir ao longo de todo o alinhamento, sem prejudicar a disposição dos cômodos. Segundo Adão e Hemerly (2010), algumas posições para os pilares são bem naturais, como nos cantos da edificação, junção de vigas e etc...

Efetuada o lançamento das vigas e pilares, define-se então o contorno das lajes no software, podendo então processar a estrutura e realizar a análise dos resultados.

3.3 DADOS E CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Para elaborar o projeto estrutural, foi necessário um conjunto de informações para viabilização do desenvolvimento das atividades. Foi necessária a elaboração do projeto arquitetônico, a definição dos métodos construtivos, a determinação das cargas atuantes e alguns parâmetros dos materiais empregados.

3.3.1 Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico contempla um edifício residencial multifamiliar de 3 pavimentos. Os pavimentos são divididos em térreo (garagem), primeiro e segundo pavimentos, constituídos por 2 unidades habitacionais idênticas compostas por:

- Hall de entrada/ sacada/ área gourmet;
- Sala de estar e cozinha integrada;
- Área de serviço;

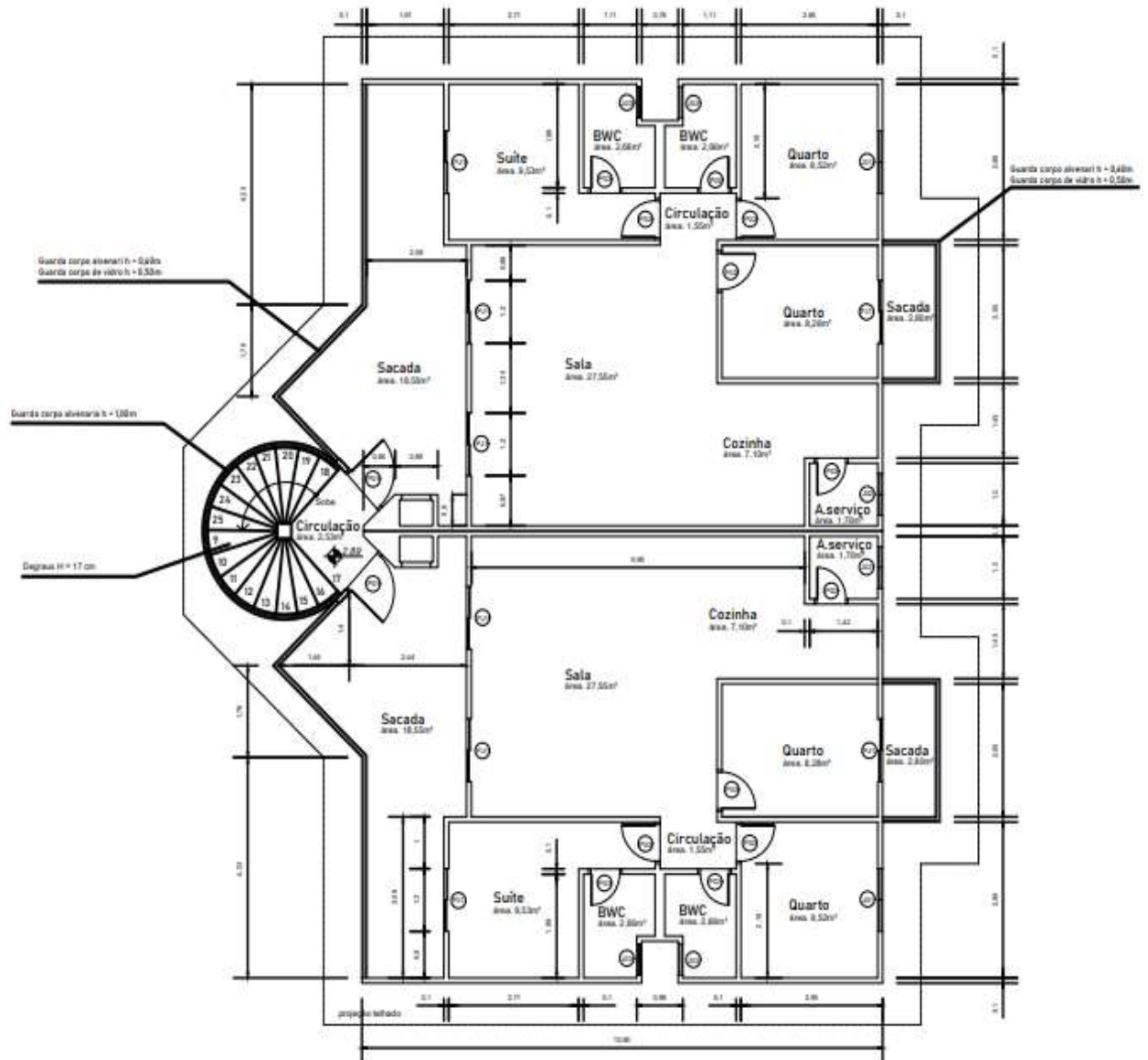
- Banheiro social;
- 2 dormitórios, sendo um com sacada;
- 1 suíte;

Cada unidade habitacional possui uma área total de 88,90 m², com pé direito de 2,89 metros de altura. As lajes dos pavimentos da edificação têm espessura e cobertura de contrapiso de 12cm e 3cm, respectivamente. Toda a edificação é revestida por piso cerâmico com argamassa de assentamento. As paredes de vedação internas e externas são construídas com tijolos cerâmicos de 8 furos, com dimensões iguais a 9cm x 19cm x 19cm.

A caixa d'água está posicionada acima da face superior da laje de cobertura, de modo a facilitar a manutenção e posicionamento do barrilete. A edificação conta ainda com uma escada do tipo caracol com 17 degraus de 17 cm de altura, posicionada na frente dos apartamentos de modo a permitir o acesso às duas unidades habitacionais.

Todos os elementos estruturais da residência são de concreto armado e foram moldados *in loco*. As dimensões e especificações dos elementos serão mostradas ao longo deste trabalho, na fase de dimensionamento da edificação. A Figura 9 apresenta a planta baixa do pavimento 01, as demais plantas arquitetônicas podem ser encontradas no anexo A.

Figura 9 - Planta baixa do primeiro e segundo pavimento



Fonte: AUTOR (2022)

3.3.2 Localização e Classe de Agressividade

O empreendimento em estudo está localizado na cidade de Bombinhas, Santa Catarina. Por estar situada em uma região marinha e com forte intensidade da ação da umidade do mar, a mesma se enquadra a classe de agressividade ambiental III, conforme a ABNT NBR 6118: 2014.

3.3.3 Materiais Empregados

3.3.3.1 Concreto

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, o concreto utilizado deve atender às características de qualidade mínimas conforme a classe de agressividade do ambiente em que está inserido, de forma a garantir a melhor durabilidade da estrutura. Conforme mostrado na Tabela 4, para a classe de agressividade do local do empreendimento, a relação água/cimento do concreto utilizado na estrutura deve ser $\leq 0,60$ e a resistência mínima do concreto ≥ 30 MPa.

Ainda, segundo a Tabela 5, o cobrimento mínimo para os elementos lajes e viga/pilar, devem ser, respectivamente, 35 mm e 40 mm.

3.3.3.2 Aço

No presente trabalho foram considerados os aços de categoria CA-50 e CA-60, que correspondem a uma resistência ao escoamento característica de 500 MPa e 600 MPa, respectivamente.

3.3.4 Cargas Consideradas

A fim de realizar o lançamento da estrutura, foram inseridas as cargas em que a mesma está submetida. O programa leva em consideração automaticamente o peso próprio da estrutura. As demais cargas permanentes, como o revestimento, reboco, cargas de paredes foram definidas conforme situação existente.

Como as cargas permanentes, as cargas acidentais também variam de acordo com o uso e aplicação do ambiente. O programa possui em sua base de dados as informações de valores pré-definidos conforme a ABNT NBR 6120:2019, sendo somente necessário selecionar o tipo de uso da laje durante o lançamento da estrutura.

As forças oriundas de ventos são levantadas pelo próprio software, parâmetros como velocidade básica dos ventos, direção, fator estático, entre outros já estão definidos, conforme os procedimentos da ABNT NBR 6123:1988.

3.4 PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

O software obtém os esforços de cálculo, levando em consideração a estrutura como um todo, considerando a mesma como um pórtico espacial, diferente do que ocorre no procedimento manual, no qual os elementos são calculados de maneira isolada sobre apoios indesejáveis.

3.4.1 Dados Iniciais

Inicialmente, houve a necessidade de se fazer verificações e modificações de alguns dados de entrada, de modo a adequá-los ao projeto de estudo. Dados como a classe de agressividade do ambiente, dimensão máxima característica do agregado, a classe do concreto utilizado na estrutura e o cobrimento de cada elemento foram conferidos e ajustados. A Figura 10 mostra o quadro com os dados assumidos.

Figura 10 - Definições de materiais e Durabilidade

Materiais e durabilidade

Aplicação

Projeto inteiro

Por pavimento

Pavimento

1. Cobrimento

2. Tipo 1

3. Tipo 2

4. Resistência

Ávisos

Todas as informações estão definidas corretamente

Detalhes...

Geral

Classe de agressividade: III (forte)

Dimensão do agregado: 19 mm

Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-35	3 cm	2 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-35	3 cm	2 cm	3.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-35	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-35	2.5 cm			Bitolas...
Blocos	C-35			4 cm	Bitolas...
Sapatas	C-35			4 cm	Bitolas...
Tubulões	C-40			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-35			3.5 cm	Bitolas...
Radier	C-35			3.5 cm	Bitolas...

Abertura máxima das fissuras

Contato com o solo: 0.2 mm

Contato com a água: 0.1 mm

Demais peças: 0.3 mm

Combinações: Frequentes

Fluência... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Fonte: AUTOR (2022)

Dando prosseguimento, fez-se necessária a verificação dos coeficientes de ponderação para as ações permanentes e acidentais conforme determinado pela ABNT NBR 6118:2014 em função da finalidade do uso da edificação. Os parâmetros adotados são mostrados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Coeficientes de ponderação: ações permanentes

Ações

Ações Combinações

Tipo

- Permanente
 - Peso próprio
 - Adicional
 - Solo
- Retração
- Acidental
 - Subpressão
 - Temperatura
 - Vento
 - Desaprumo

Ação

Nome:

Indicação:

Considerar para as lajes

Variabilidade

Permanente

Acidental direta

Acidental indireta

Coef. de ponderação

Combinações	Concreto
Normais (desfavorável)	<input type="text" value="1.40"/>
Normais (favorável)	<input type="text" value="1.00"/>
Fundações	<input type="text" value="1.00"/>
Incêndio	<input type="text" value="1.20"/>

Fatores de combinação

$\psi_0 =$

$\psi_1 =$

$\psi_2 =$

OK Cancelar Ajuda

Fonte: AUTOR (2022)

Figura 12 - Coeficientes de ponderação: ações acidentais

Ações

Ações Cominações

Tipo

- [-] Permanente
 - [-] Peso próprio
 - [-] Adicional
 - [-] Solo
 - [-] Retração
 - [-] Acidental
 - [-] Acidental
 - [-] Água
 - [-] Subpressão
 - [-] Temperatura
 - [-] Vento
 - [-] Desaprumo

Ação

Nome:

Indicação:

Considerar para as lajes

Variabilidade

Permanente

Acidental direta

Acidental indireta

Coef. de ponderação

Cominações	Concreto
Normais (desfavorável)	<input type="text" value="1.40"/>
Normais (favorável)	<input type="text" value="0.00"/>
Fundações	<input type="text" value="1.00"/>
Incêndio	<input type="text" value="1.00"/>

Fatores de combinação

$\Psi_0 =$

$\Psi_1 =$

$\Psi_2 =$

OK Cancelar Ajuda

Fonte: AUTOR (2022)

3.4.2 Lançamento do Modelo Estrutural

Com base no projeto arquitetônico, iniciou-se o processo de locação e configuração dos elementos estruturais. Todos os elementos, pilares, vigas e lajes foram locados de maneira similar a configuração observada *in loco*.

Para realização do lançamento, inicialmente foram nomeados os pavimentos e os níveis as quais se encontram com relação ao nível zero do projeto. A Figura 13 apresenta um resumo da definição desses parâmetros no software.

Figura 13 - Definição dos pavimentos e níveis

Propriedades do projeto

Identificação

Nome: Solar das Bromélias

Caminho: C:\Users\Suede\Desktop\Solar das Bromélias

ID:

Título: Solar das Bromélias

Pavimentos

Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)
L3 - Cobertura	289.00	867.00
L2 - Tipo 2	289.00	578.00
L1 - Tipo 1	289.00	289.00
L0 - Baldrame	150.00	0.00

Nível do solo (cm): 0.00

Localização...

Fechar Ajuda

Fonte: AUTOR (2022)

Pela inexistência de dados relativos aos parâmetros de comportamento do solo do local onde a estrutura está localizada, o dimensionamento das fundações não foi levado em consideração. Para efeito de cálculo da mesma foram assumidos valores mínimos sugeridos pela norma, partindo da suposição que o solo do local possui uma boa capacidade de carga.

Definidos os níveis dos pavimentos da edificação, as plantas baixas desenvolvidas anteriormente no AutoCAD, foram importadas para o software. Nesta etapa fez-se necessário a realização do alinhamento das mesmas, através do posicionamento da origem e definição da escala em comum entre todas as plantas.

Na sequência, deu-se início o posicionamento dos elementos estruturais, levando em contas as considerações feitas anteriormente. Os primeiros elementos dispostos foram os pilares. Atualmente na obra existem duas configurações de pilares, 12 cm x 30 cm e 20 cm x 40 cm. Nota-se que a grande maioria dos pilares possui dimensões de 12 cm x 30 cm, ou seja, apresentam uma menor dimensão menor que 14 cm, o mínimo exigido pela ABTN NBR 6118:2014. Por conta disso, os pilares foram lançados com dimensões de 14 cm x 30 cm e 20 cm x 40 cm. As Figuras 14 e 15

apresentam respectivamente, os parâmetros de dimensionamento e os dados de entrada do lançamento de um dos pilares.

Figura 14 - Parâmetros de dimensionamento: Pilares

Dimensionamento [Pilares]

Pilares Vigas Lajes Sapatas Blocos Muros

Estribos

Separar trechos com diferença de armadura maior que %

Espaçamento mínimo cm

Espaçamento mínimo (topo e base) cm

Espaçamento múltiplo de ▾

Tamanho mínimo do(s) trecho(s) cm

Percentual mínimo em pilares-parede %

Esperas

Tipo ▾ ...

Permitir bitola menor que superior

Adotar espera da fundação igual ao pilar superior

Permitir carga nula ou negativa

Usar armadura simétrica para pilares quadrados

Usar armadura simétrica para pilares compostos

Ângulo mínimo para considerar pilar inclinado °

Usar momento mínimo

Dispensar imperfeições locais se for atendido

Considerar efeitos localizados de 2ª ordem em pilar-parede

Processo ▾

Limites

Taxa de armadura máxima %

Número máximo de barras numa face de seção

Seção transversal mínima cm²

Dimensão mínima cm

Fonte: AUTOR (2022)

Figura 15 - Dados de entrada de Pilar

Pilar

Dados do pilar

Nome Ambiente

Modelo

Vínculo Verticalidade

Seção

Tipo


b cm h cm

b1 cm h1 cm

Ângulo de abertura °

Ângulo de rotação °

Elevação cm



Capitel

Usar capitel

Ângulo de rotação ° b cm

Espessura cm h cm

Fonte: AUTOR (2022)

As vigas foram lançadas com largura de 12 cm, exatamente com as mesmas dimensões existentes na obra. As Figuras 16 e 17 apresentam respectivamente, os parâmetros de dimensionamento e os dados de entrada do lançamento de uma das vigas.

Figura 16 - Parâmetros de dimensionamento: Vigas

Dimensionamento [Vigas]

Pilares **Vigas** Lajes Sapatas Blocos Muros

Limites

Relação máxima entre altura e CG da armadura %

Taxa de armadura máxima %

Diâmetro do vibrador cm

Permitir abertura próxima ao apoio

Armadura de compressão

Diâmetro mínimo ▾

Armadura de tração

Tensão mínima para considerar %

Usar armadura mínima da seção

Adotar armadura de pele como armadura de tração

Em vigas que já possuem armadura de pele

Em vigas com tensão de tração maior que % f_{ctk}

Percentual a ser resistido pela armadura de pele %

Armadura de torção

Tensão mínima para considerar %

Diâmetro mínimo ▾

Espaçamento máximo cm

Armadura de pele

Diâmetro mínimo ▾

Espaçamento máximo cm

Altura inicial cm

Armadura de suspensão

Permitir viga maior apoiando em menor

Tipo de estribo ▾

Diâmetro mínimo ▾

Espaçamento mínimo cm

Adotar armadura de suspensão para vigas de mesma altura

Apoio sobre pilares extremos

Usar armadura mínima para apoios com largura superior a cm

Largura máxima de desenho cm

Fonte: AUTOR (2022)

Figura 17 - Dados de entrada de Viga

Viga

Dados da viga

Nome

Ambiente

Seção do trecho

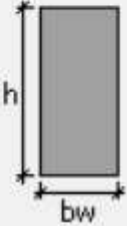
Tipo

bw cm h cm

bf cm hf cm

Obter elevação para viga invertida

Elevação cm



Cargas

Parede kgf/m

Carga extra kgf/m

Temperatura e retração °C

Fonte: AUTOR (2022)

As lajes são do tipo maciças, e apresentam uma espessura de 12cm, as mesmas foram delimitadas pelo desenho das vigas e vãos do projeto arquitetônico.

A escada não teve seu lançamento realizado por conta da sua complexidade (plissada em caracol), como alternativa foi efetuado o cálculo da carga da mesma e realizado a distribuição dos esforços nos outros elementos da estrutura. As Figuras 18 e 19 trazem as definições dos parâmetros de dimensionamento das lajes, bem como os dados de lançamento de uma das mesmas.

Figura 18 - Parâmetros de dimensionamento: Lajes

Dimensionamento [Lajes]

Pilares Vigas **Lajes** Sapatas Blocos Muros

Armadura positiva

Comprimento mínimo do trecho cm

Espaçamento máximo

Principal cm

Secundária cm

Ancoragem

Momento positivo mínimo a ser considerado na ancoragem Kgf.m

Tração mínima a ser considerada na ancoragem Kgf/m

Permitir ancoragem na laje adjacente

Aberturas

Dispensar armadura de reforço em aberturas circulares

Permitir abertura interceptando nervura em laje pré-fabricada

Armadura das continuidades

Diâmetro mínimo cm

Espaçamento máximo cm

Cisalhamento

Dispensar verificação ao cisalhamento

Espaçamento múltiplo cm

Espaçamento mínimo cm

Espaçamento máximo

Definido por norma

Adotar % d

Limites... Coeficientes...

Nervuras... Regiões...

Punção... Radier...

OK Cancelar Ajuda

Fonte: AUTOR (2022)

Figura 19 - Dados de entrada de Laje

Laje

Nome Tipo

Ambiente

Cargas

Grupo

Acidental kgf/m² Revestimento kgf/m²

Extra kgf/m²

Temperatura e retração °C

Vigota protendida

Tipo

Arranjo Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão

Seção

Espessura cm Elevação cm

ec cm

ee cm

enx cm

eny cm

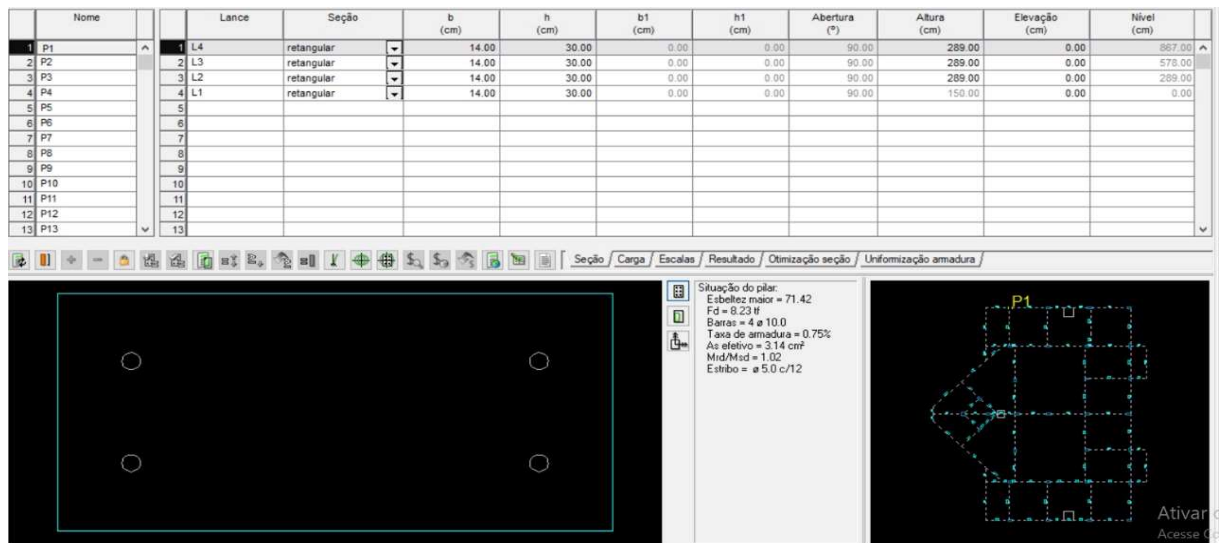
Fonte: AUTOR (2022)

Considerando a análise estrutural, em alguns elementos houve a necessidade de realização de correções nas dimensões, visto que as dimensões iniciais não foram suficientes para acomodar as estruturas. A primeira análise realizada foi considerando o Estado Limite Ultimo, a mesma apontou algumas inconsistências mínimas

3.4.3 Resultados das Análises

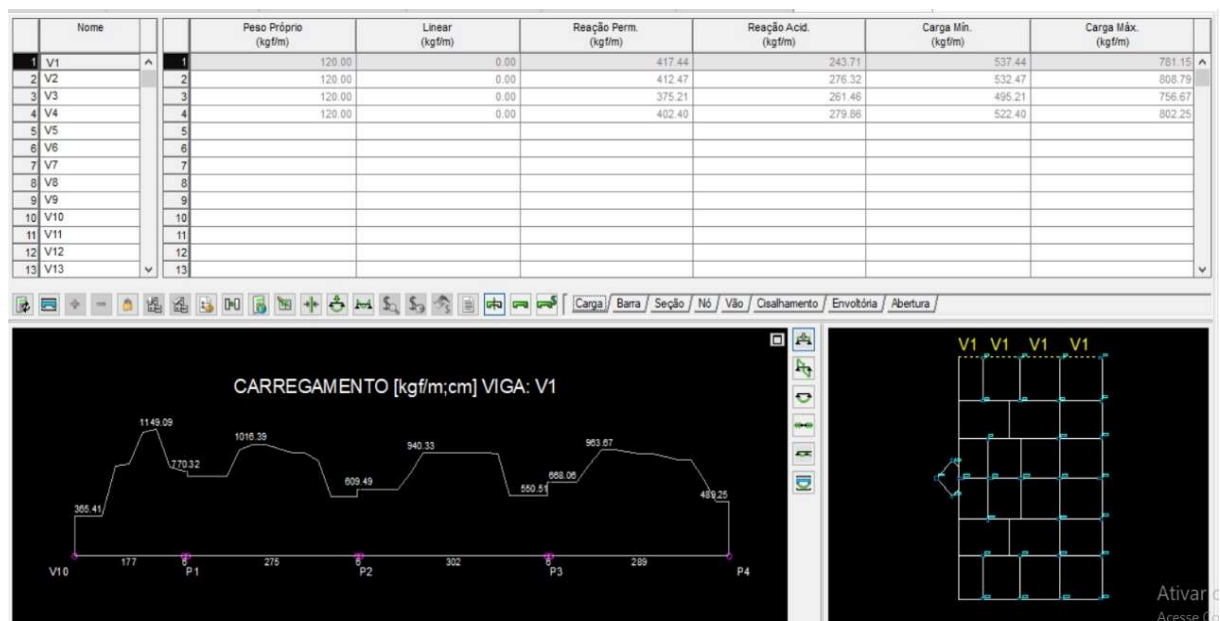
Através das análises do software foi possível obter inúmeras informações referentes ao dimensionamento dos elementos que compõe a estrutura. As Figuras 21, 22 e 23 apresentam as interfaces de alguns elementos com os resultados obtidos nas análises dos mesmos.

Figura 21 - Visualização dos resultados do dimensionamento do Pilar 01



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 22 - Visualização dos resultados do dimensionamento da Viga 01



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 23 - Visualização dos resultados do dimensionamento da Laje 01

	Nome	Peso Próprio (kg/m ²)	Acidental (kg/m ²)	Revestim. (kg/m ²)	Localizadas (kg/m ²)	Extra (kg/m ²)	Carga Total (kg/m ²)
1	L1	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
2	L2	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
3	L3	300.00	150.00	181.50	111.00	0.00	742.50
4	L4	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
5	L5	300.00	150.00	154.50	44.28	0.00	648.78
6	L6	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
7	L7	300.00	150.00	154.50	56.69	0.00	661.19
8	L8	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
9	L9	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
10	L10	300.00	150.00	154.50	0.00	0.00	604.50
11	L11	300.00	150.00	181.50	96.41	0.00	727.91
12	L12	300.00	300.00	154.50	60.08	0.00	814.58
13	L13	300.00	300.00	154.50	60.23	0.00	814.73

Diagrama de um elemento estrutural L1 com eixos Mdx e Mdy.

Momentos positivos
Mdx = 31.40 kgf.m/m
As,calc = 1.01 cm²/m
a = 6.3 c / 30.0 cm
Mdy = 396.5 kgf.m/m
As,calc = 2.24 cm²/m
a = 6.3 c / 14.0 cm
Momentos negativos
Mdx = -711.0 kgf.m/m
As,calc = 1.83 cm²/m
a = 8.0 c / 20.0 cm
Mdy = -620.3 kgf.m/m
As,calc = 1.72 cm²/m
a = 8.0 c / 20.0 cm

Diagrama de uma planta de formas dos pavimentos com o elemento L1 destacado.

Fonte: AUTOR (2022)

O software é uma ferramenta muito completa, o mesmo fornece inúmeras informações dos elementos estruturais. Através das análises dos resultados é possível visualizar parâmetros como as cargas e momentos atuantes no elemento estrutural, diagramas de esforços, sejam eles cortantes, momentos fletores e torsões, bem como a área de aço necessária a ser utilizada na estrutura e o detalhamento das armaduras. Nos anexos deste trabalho encontram-se dispostos as plantas de formas dos pavimentos bem como o detalhamento de todos os elementos estruturais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tem-se informações, através de moradores antigos, de que a execução do empreendimento foi muito negligenciada, o que é possível supor através de uma análise geral do mesmo. O primeiro ponto em questão é o fato da edificação ter sido construída sem a aprovação de nenhum projeto, seja arquitetônico, estrutural ou complementares. Fontes relatam que o construtor da época (2005), por ser um empreiteiro conhecido da região, executou o empreendimento da maneira que julgava adequada.

Atualmente a estrutura apresenta inúmeras patologias tais como: pequenos recalques, problemas com infiltração e corrosão de armadura. Muito possivelmente todos esses problemas poderiam ter sido evitados caso o empreendimento tivesse sido projetado e executado em conformidade com as disposições normativas exigentes na época.

A questão dos recalques provavelmente está ligada às fundações, desconsideradas neste trabalho. As fundações existentes no empreendimento são do tipo rasa (sapatas), executadas sem informações dos parâmetros do solo do local e muitas sem mesmo adotar os parâmetros mínimos exigidos pela ABNT NBR 6122:2019.

O problema das infiltrações possivelmente tem ligação com a qualidade do concreto que foi empregado na estrutura. Têm-se informações de que todo o concreto utilizado na obra foi feito *in loco*, com mistura feita em betoneira. Esse tipo de concreto, se comparado ao concreto usinado, não possui um rigoroso controle tecnológico em sua produção e por consequência disto o traço pode ter sido inadequado. Em virtude da variação do traço e do não controle adequado da relação água/ cimento, o concreto possivelmente teve em sua composição uma maior quantidade de água adicionada, o que contribuiu para a geração de fissurações, que consequentemente gerou influência no surgimento das infiltrações existentes.

Com relação às dimensões dos elementos também são identificadas inconformidades, como por exemplo nos pilares. Na edificação a grande maioria dos pilares possui seção de 12 cm x 30 cm, ou seja, apresentam em sua menor dimensão um valor menor que a mínima exigida (14 cm) pela ABNT NBR 6122:2014. Levando em consideração que a obra foi realizada em meados de 2005, pode-se considerar

que possivelmente esses elementos estão em conformidade, visto que na época a norma limitava a dimensão mínima do pilar à 12 cm e uma área de seção transversal mínima de 360 cm², condições estas satisfeitas. Por outro lado, não é possível afirmar se os elementos estão dimensionados de maneira a garantir os parâmetros de segurança da estrutura, visto que o software não permite realizar uma simulação com os valores menores que os exigidos pela ABNT NBR 6118:2014, estes que satisfizeram todas as condições de dimensionamento sem apresentar irregularidades. A Figura 24 mostra um dos pilares da edificação durante processo de reforço estrutural. Na imagem é possível observar sua seção e as condições de corrosão da armadura existente.

Figura 24 - Pilar da edificação



Fonte: AUTOR (2022).

Com relação às vigas, o dimensionamento apontou algumas situações que deverão ser corrigidas. Todas as vigas foram lançadas exatamente nas mesmas posições e dimensões observadas no empreendimento. O dimensionamento feito no *software* indicou erros em algumas vigas localizadas na região das sacadas dos pavimentos. Como solução foi necessário realizar um aumento da seção das mesmas, de modo a dispor de forma adequada as armaduras necessárias para se combater os esforços existentes na estrutura.

Além dos apontamentos relacionados às vigas localizadas nas sacadas dos pavimentos tipo, houve também a necessidade de realização de ajustes nas vigas do baldrame. O *software* indicou que a seção adotada não foi suficiente para dispor as armaduras de maneira adequada. O problema teve como solução mais viável o aumento da classe de resistência do concreto (C-35), que possibilitou a diminuição do cobrimento mínimo dos elementos, de 35mm para 30mm, de modo a acomodar as armaduras de maneira adequada.

Os problemas de corrosão de armadura existentes na edificação estão diretamente relacionados à falta de cobrimento mínimo dos elementos estruturais. Através de observações feitas *in loco* é possível identificar que o cobrimento máximo adotado na grande maioria dos elementos é de 20 mm, ou seja, menor que o mínimo exigido por norma pela ABNT NBR 6122:2014 para a classe de agressividade ambiental do local.

Não bastasse a falta de cobrimento mínimo, existem locais onde durante a execução os construtores realizaram a adoção de barras de aço com o intuito de desempenhar a função de espaçadores, de modo a suspender a armadura e evitar o contato com a forma. Além disto, moradores afirmam que a água utilizada no concreto foi captada em um riacho as margens do empreendimento. Por estar localizado muito próximo à praia, cerca de 50 metros, esse riacho sofre influência da maré, o que pode alterar a qualidade da água, tornando-a imprópria para a execução do concreto. Na Figura 25 são mostradas as condições de alguns dos elementos do empreendimento durante processo de recuperação estrutural, evidenciando-se a corrosão das armaduras.

Figura 25 - Detalhe de escadas do empreendimento



Fonte: AUTOR (2022)

5. CONCLUSÃO

Através do presente trabalho é possível concluir que o profissional de engenharia civil carrega uma enorme responsabilidade. É dever fundamental do engenheiro civil possuir uma boa preparação, de modo a desempenhar suas funções e contribuir para o progresso da engenharia e da sua melhor aplicação ao serviço da humanidade.

Situações como as apresentadas anteriormente poderiam ter sido evitadas se, simplesmente, os responsáveis pela execução do empreendimento tivessem agido com responsabilidade e contratado um responsável capacitado para projetar e acompanhar a execução da obra de maneira correta, seguindo as instruções normativas. Como resultado disso, hoje tem-se uma obra em situação irregular, pois não obedece aos padrões fixados pela legislação local sobre edificações e muito provavelmente não apresenta parâmetros mínimos de segurança para os moradores e vizinhança.

Levando em consideração todas as informações levantadas, o fato da obra apresentar fissuras, recalques e diversas outras patologias, bem como o fato de a mesma estar em uso sem adequação dos parâmetros exigidos pela norma, faz-se importante um estudo das possibilidades de adequação da estrutura, considerando situações de reformas, retrofit e até mesmo a realização de reforços estruturais como medida de garantir os parâmetros mínimos de segurança e a continuidade da vida útil da estrutura.

Acerca dos conhecimentos necessários para execução do dimensionamento apresentado neste trabalho, pode-se afirmar que todos esses anos de graduação foram de suma importância para obtenção dos mesmos. No trabalho em questão todos os cálculos e análises foram executados de maneira computacional, através da utilização de software. Atualmente as ferramentas computacionais se mostram essenciais na produção de projetos estruturais, contribuindo para a obtenção de resultados rápidos e com qualidade, porém essas ferramentas devem ser utilizadas com muito cuidado, pois como qualquer dimensionamento, são vulneráveis as considerações do projetista.

A realização de projetos estruturais demanda muita atenção e conhecimento do projetista, visto que as ações do mesmo impactam diretamente na segurança das

edificações. É muito importante que o profissional tenha conhecimento de como seguir a metodologia de dimensionamento de maneira adequada, como prosseguir com o lançamento da estrutura, sobre quais condições de contorno são necessárias serem adotadas, bem como outras informações importantes para obtenção de um projeto correto e seguro.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Dimensionar a estrutura utilizando outro tipo de laje, como por exemplo a treliçada;
- Analisar as fundações;
- Analisar tecnicamente as patologias do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ADÃO, Francisco Chavier; HEMERLY, Adriano Chequetto. **Concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 2010.

ALTOQI. Altoqi, 2022. Eberick. Disponível em: < altoqi.com.br/eberick/>. Acesso em 01 de nov. de 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro. ABNT, 2011.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1997.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto armado**. 2021. Apostila (Disciplina Estruturas de Concreto I) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 2021.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. Apostila (Disciplina Estruturas de Concreto I) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 2006.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. Distrito Federal. Livros Técnicos e Científicos, 2015.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

CARVALHO, Robert Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jassen Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2015.

DEICHMANN, A. **Projeto estrutural em concreto armado de uma residência unifamiliar de dois pavimentos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado**. São Paulo: Nome da Rosa, 2005.

KRAUSS, M. L. P. **Projeto de elementos em estrutura de concreto armado: Comparações entre cálculo manual e o uso de programa computacional**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

LEHMKUHL, S. R. **Projeto estrutural de edificação multifamiliar em concreto armado através do uso de procedimentos manuais e software comercial**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

LEONHARDT, F.; MONNING, E. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

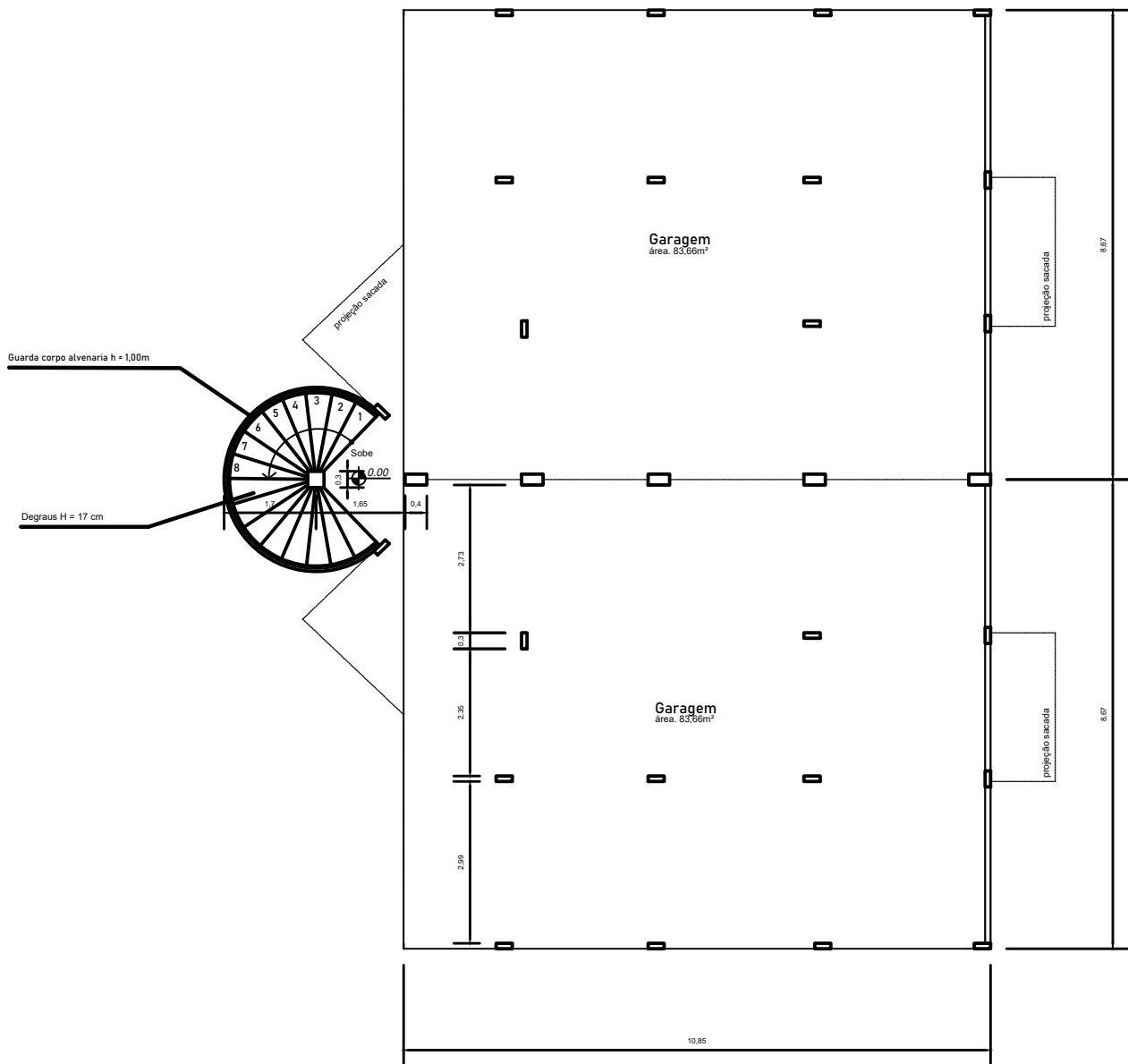
PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

ANEXO A – PLANTAS PROJETO ARQUITETÔNICO

Na sequência são apresentadas as plantas do projeto arquitetônico dos pavimentos da edificação. São exibidas respectivamente as plantas do térreo, 1º pavimento, 2º pavimento e elevações.

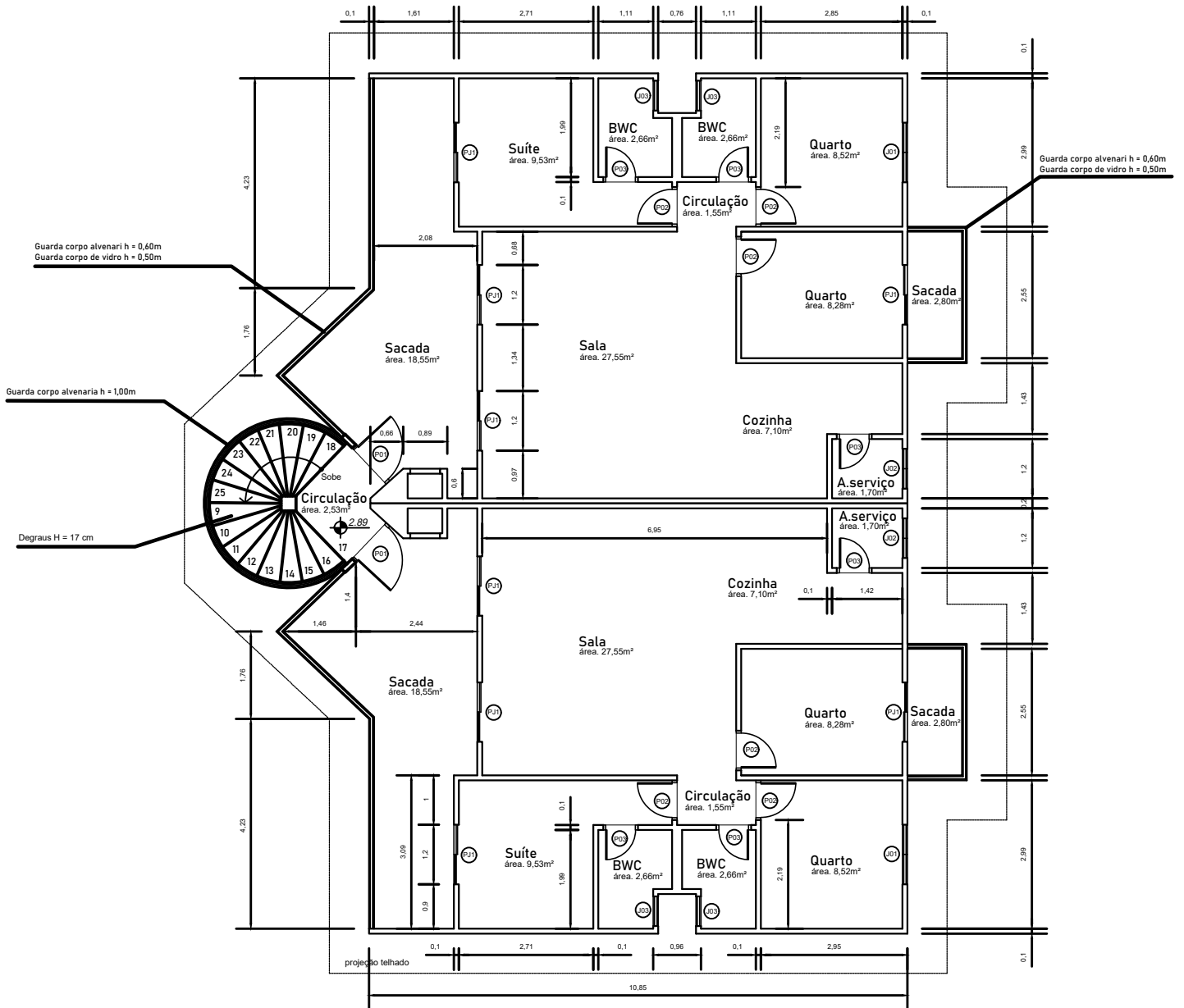
Planta Baixa: Térreo

Sem escala



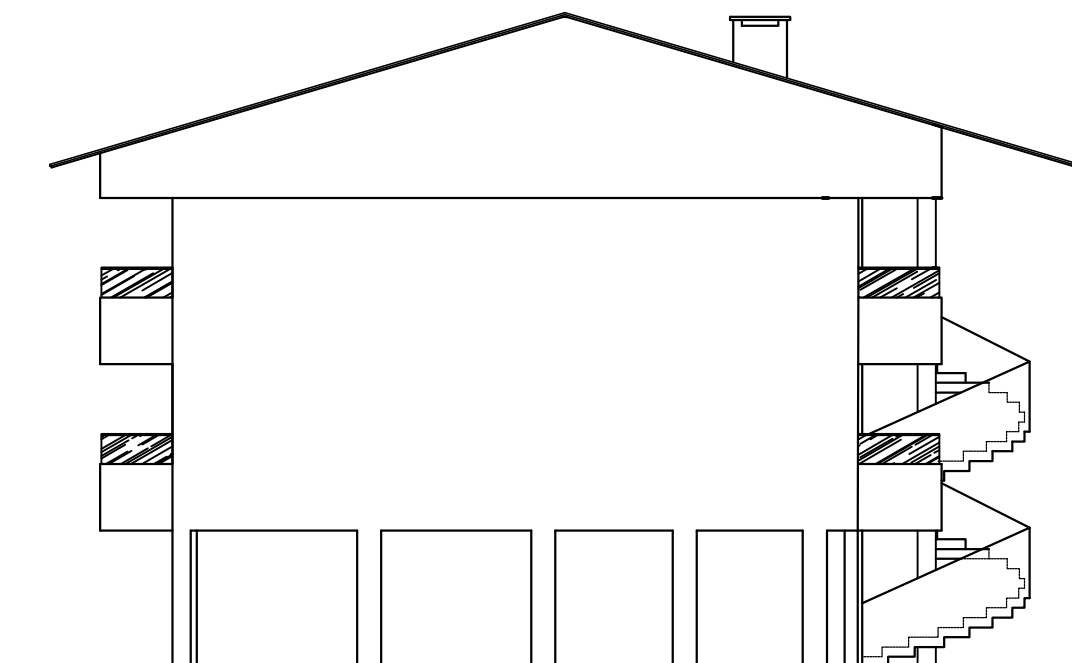
Planta Baixa: 1º Pavimento

Sem escala



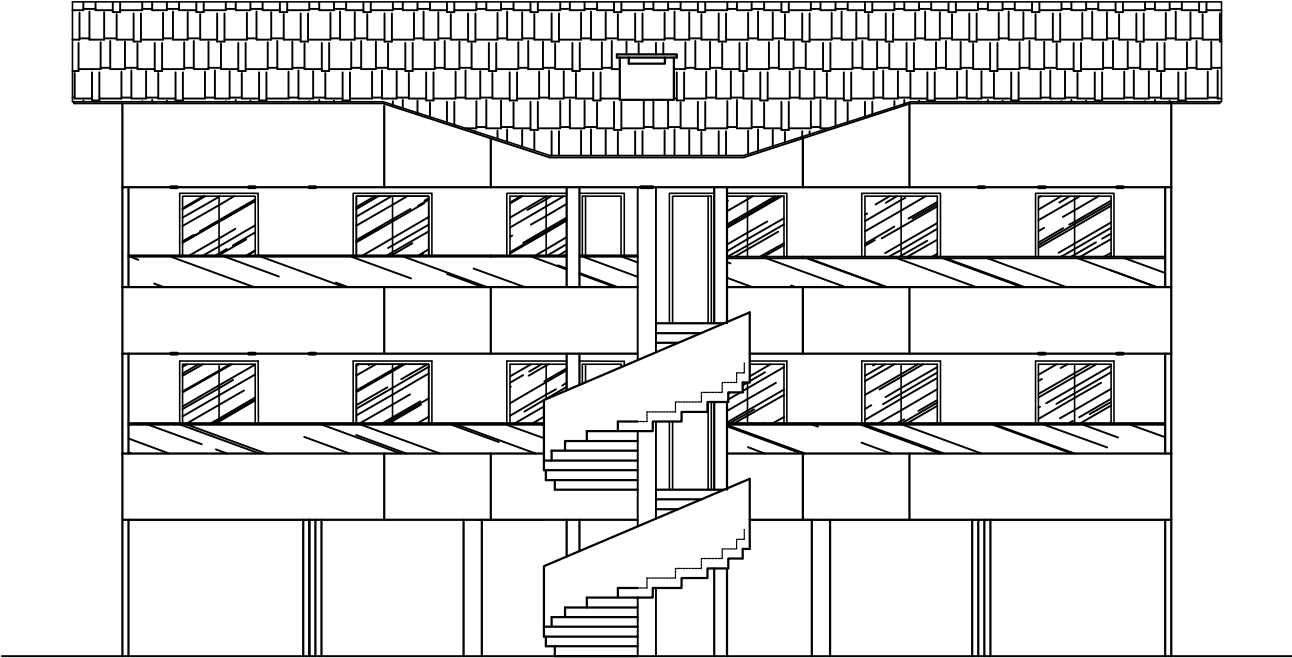
Elevação Lateral

Sem escala



Elevação Frontal

Sem escala



ANEXO B – CADERNOS ESTRUTURAIS

A seguir são apresentados os cadernos estruturais dos pavimentos térreo, 1º pavimento, 2º pavimento e cobertura, respectivamente.

PROJETO ESTRUTURAL

CADERNO Nº 1

PROPRIETÁRIO:

OBRA:

RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR

PAVIMENTO:

OBSERVAÇÕES:

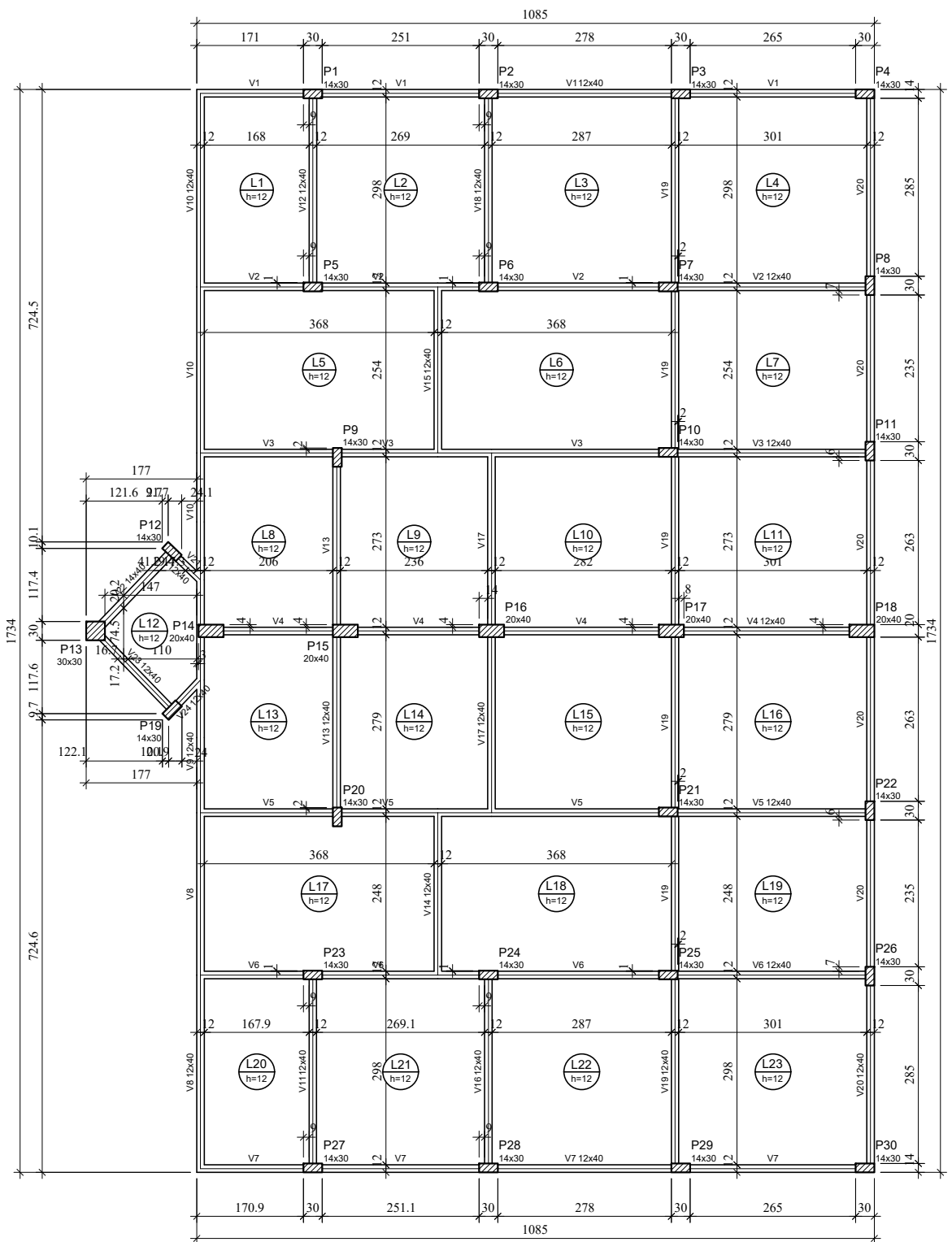
TÉRREO

EXECUTAR EXATAMENTE CONFORME O PROJETO:

CONTEÚDO:

VIGAS, PILARES E LAJE.

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO

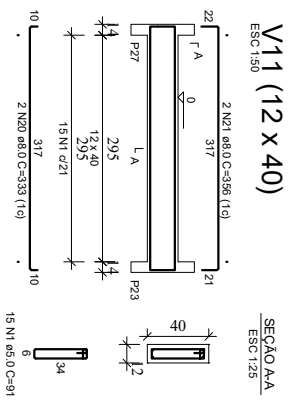
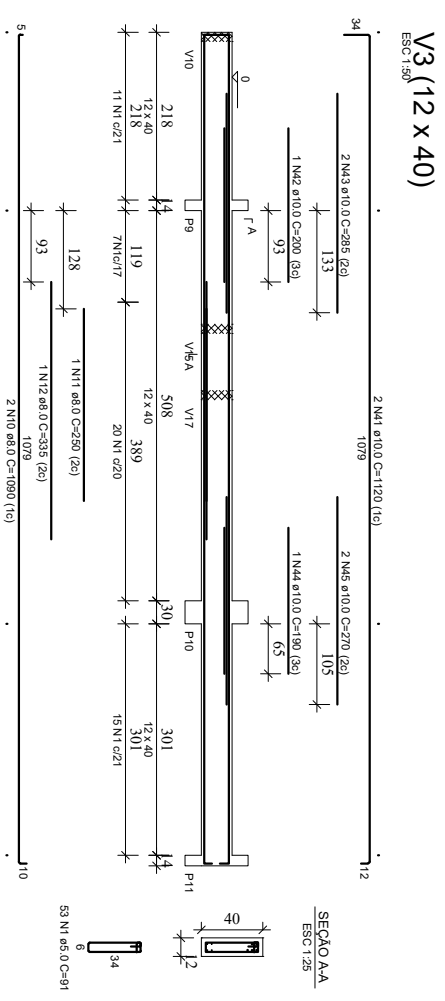
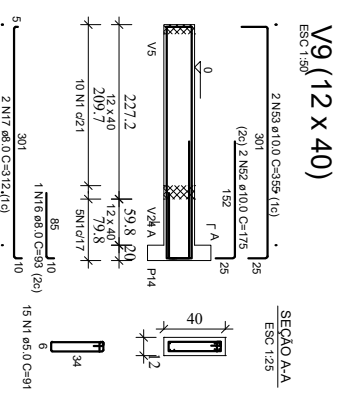
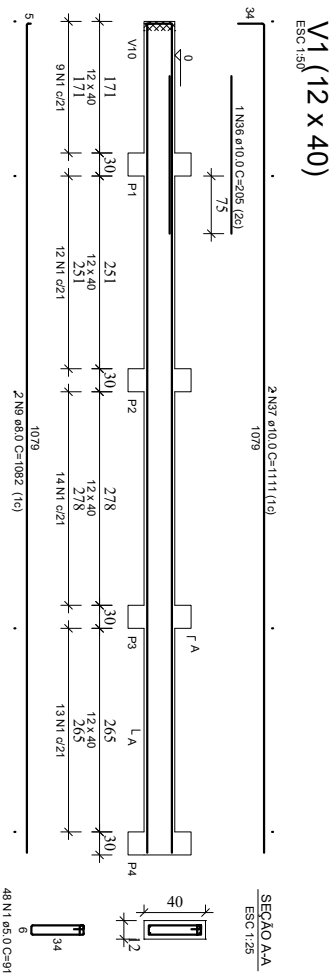


Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

Legenda das vigas e paredes	
	Viga

PLANTA DE FORMA: TÉRREO

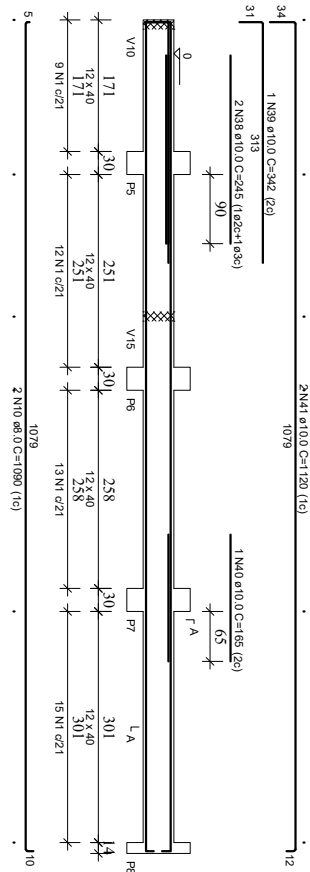
Sem escala



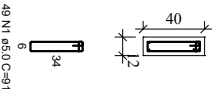
PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	2
ESCALA	
PAVIMENTO	TÉRREO

V2 (12 x 40)

ESC: 1/30

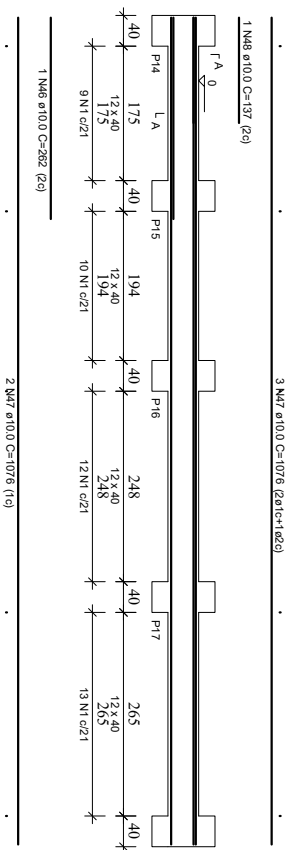


SEÇÃO A-A
ESC: 1/25

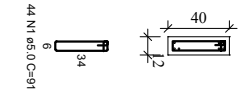


V4 (12 x 40)

ESC: 1/30

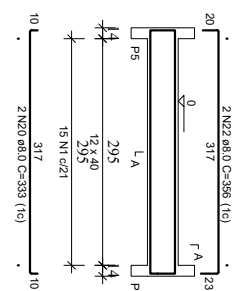


SEÇÃO A-A
ESC: 1/25

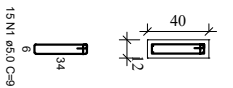


V12 (12 x 40)

ESC: 1/30

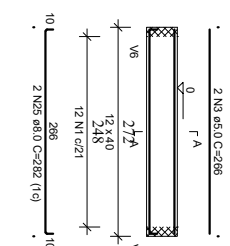


SEÇÃO A-A
ESC: 1/25

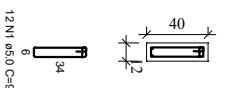


V14 (12 x 40)

ESC: 1/30

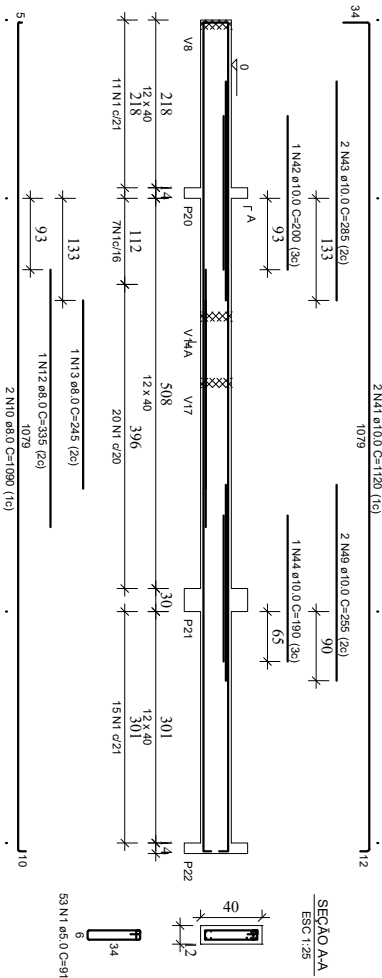


SEÇÃO A-A
ESC: 1/25

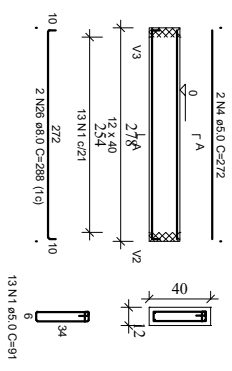


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
CONTEÚDO	FOLHA
ESCALA	3
PAVIMENTO	TÉRREO
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
VIGAS	

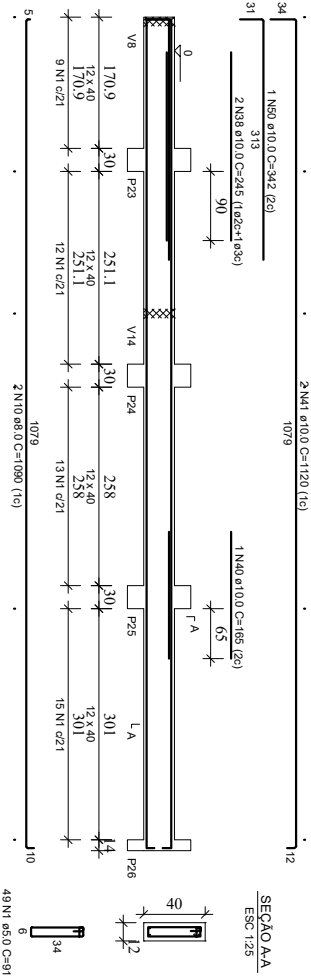
V5 (12 x 40)



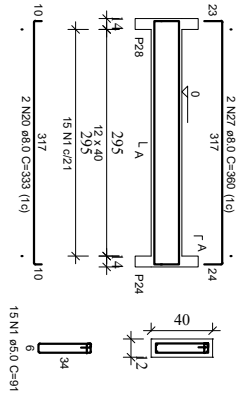
V15 (12 x 40)



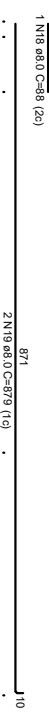
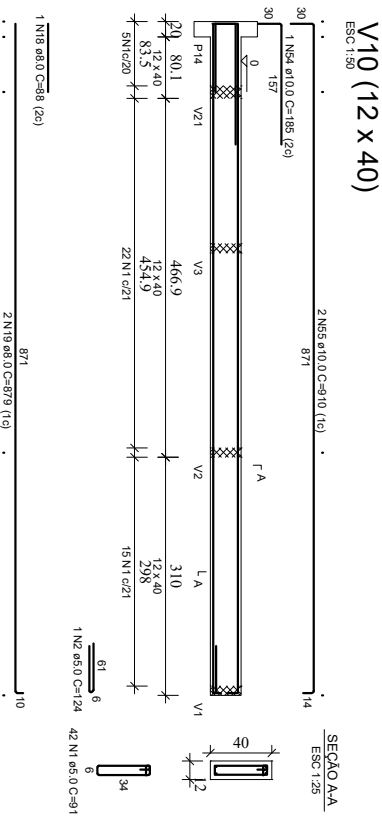
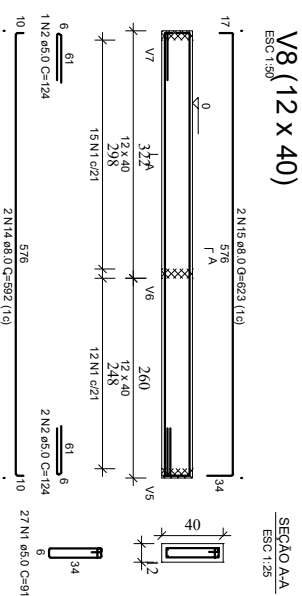
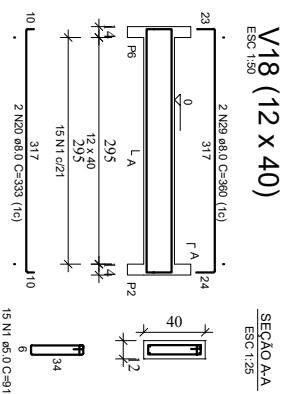
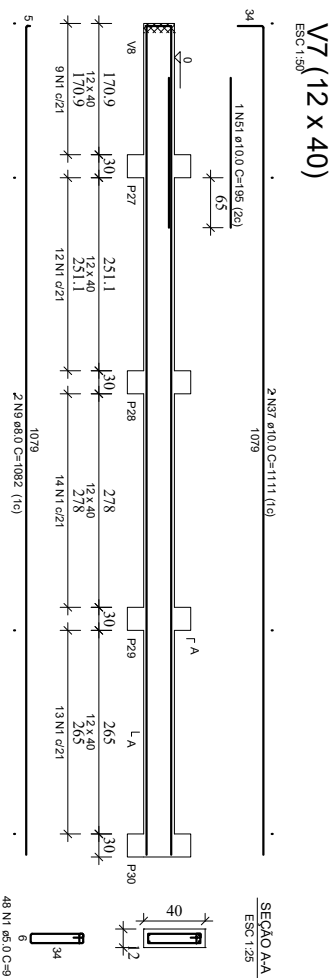
V6 (12 x 40)



V16 (12 x 40)



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRAS	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	4
ESCALA	
PAVIMENTO	TÉRREO



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
CONTEÚDO	FOLHA
ESCALA	5
PAVIMENTO	TÉRREO
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
VIGAS	

RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C'TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CAS0	100	486,4	282,6
CAB0	5,0	707,3	119,9
PESO TOTAL (kg)			402,5
CAS0	441,5		
CAB0	119,9		

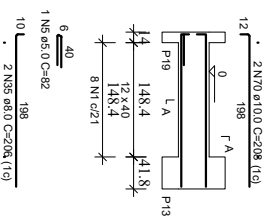
Volume de concreto (C-35) = 7,20 m³
 Área de forma = 108,22 m²

RELAÇÃO DO AÇO

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	CUNIT (cm)	C'TOTAL (m)
CAB0	1	5,0	744	124	67,74
CAB0	2	5,0	2	266	53,2
CAB0	3	5,0	2	272	54,4
CAB0	4	5,0	3	32	24,6
CAB0	5	5,0	2	140	28,0
CAB0	7	5,0	2	84	16,8
CAB0	8	5,0	4	1082	432,8
CAB0	9	8,0	1	250	25,0
CAB0	11	8,0	2	335	67,0
CAB0	12	8,0	2	245	49,0
CAB0	13	8,0	1	114	22,8
CAB0	14	8,0	2	623	124,6
CAB0	15	8,0	2	623	124,6
CAB0	16	8,0	1	93	18,6
CAB0	17	8,0	1	312	62,4
CAB0	18	8,0	1	86	17,2
CAB0	19	8,0	1	87	17,4
CAB0	20	8,0	8	333	266,4
CAB0	21	8,0	2	356	71,2
CAB0	22	8,0	2	356	71,2
CAB0	23	8,0	2	356	71,2
CAB0	24	8,0	2	600	1200
CAB0	25	8,0	2	282	564
CAB0	26	8,0	2	288	576
CAB0	27	8,0	2	288	576
CAB0	28	8,0	2	360	720
CAB0	29	8,0	2	1162	2324
CAB0	30	8,0	2	110	22,0
CAB0	31	8,0	2	1144	228,8
CAB0	32	8,0	2	608	1216
CAB0	33	8,0	2	214	428
CAB0	34	8,0	2	214	428
CAB0	35	8,0	2	206	412
CAB0	36	8,0	2	206	412
CAB0	37	10,0	4	245	490
CAB0	38	10,0	4	245	490
CAB0	39	10,0	1	342	34,2
CAB0	40	10,0	6	1120	8960
CAB0	41	10,0	2	200	400
CAB0	42	10,0	2	265	530
CAB0	43	10,0	4	282	1140
CAB0	44	10,0	2	276	552
CAB0	45	10,0	2	282	564
CAB0	46	10,0	5	1076	5380
CAB0	47	10,0	1	157	15,7
CAB0	48	10,0	1	157	15,7
CAB0	49	10,0	1	342	34,2
CAB0	50	10,0	1	195	19,5
CAB0	51	10,0	2	175	350
CAB0	52	10,0	2	185	370
CAB0	53	10,0	1	185	18,5
CAB0	54	10,0	1	185	18,5
CAB0	55	10,0	2	910	1820
CAB0	56	10,0	1	400	400
CAB0	57	10,0	2	620	1240
CAB0	58	10,0	2	632	1264
CAB0	59	10,0	2	645	1290
CAB0	60	10,0	2	645	1290
CAB0	61	10,0	2	1198	2396
CAB0	62	10,0	2	1199	2398
CAB0	63	10,0	2	1199	2398
CAB0	64	10,0	2	605	1210
CAB0	65	10,0	2	92	184
CAB0	66	10,0	1	118	11,8
CAB0	67	10,0	2	123	246
CAB0	68	10,0	2	128	256
CAB0	69	10,0	2	212	424
CAB0	70	10,0	2	238	476
CAB0	71	10,0	2	238	476
CAB0	72	10,0	1	110	11,0
CAB0	73	10,0	2	116	232

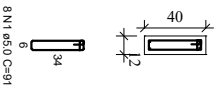
V23 (12 x 40)

ESC:1:50



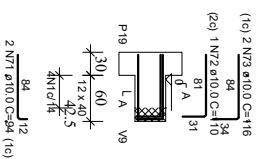
SEÇÃO A-A

ESC:1:25



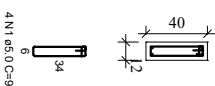
V24 (12 x 40)

ESC:1:50



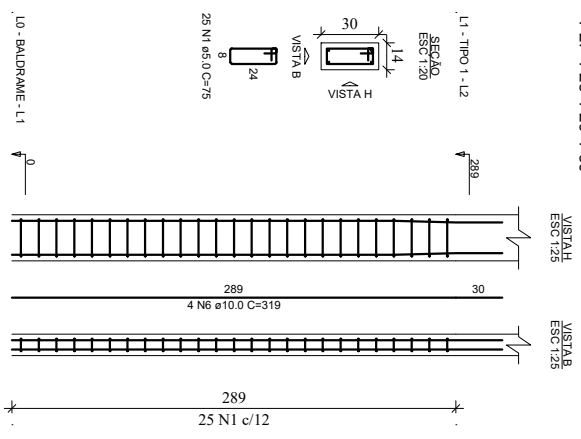
SEÇÃO A-A

ESC:1:25

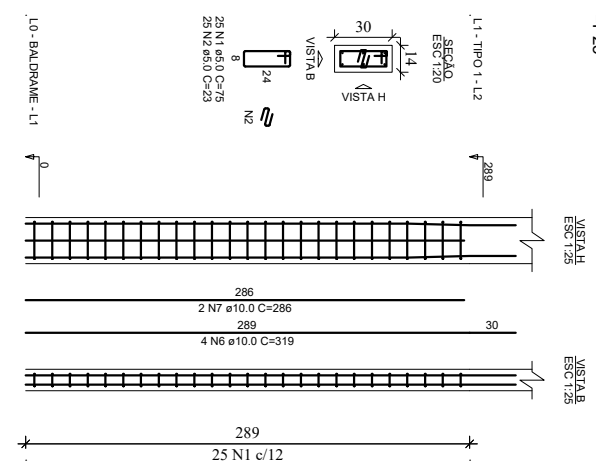


PROPRIETÁRIO		CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	1
CONTEÚDO	VIGAS	FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO TÉRREO	8

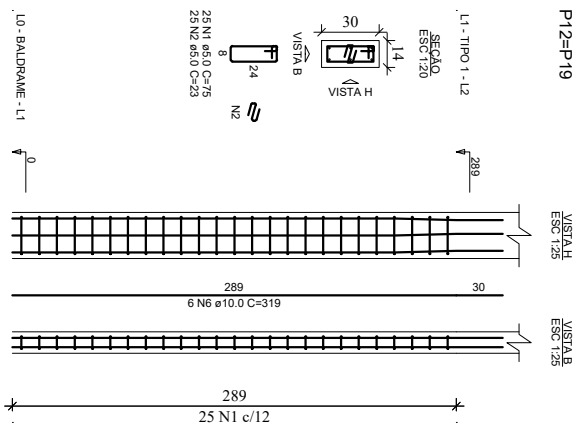
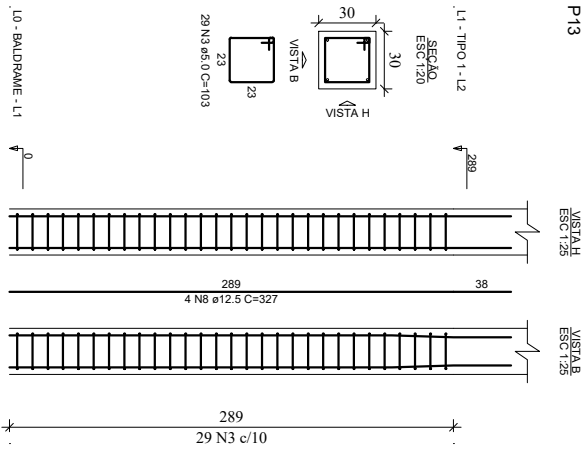
P1=P2=P3=P4=P6=P8=P9=
 =P11=P20=P22=P24=P26=
 =P27=P28=P29=P30



P5=P7=P10=P21=P23=
 =P25



PROPRIETARIO	CADERNO
OBRA	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	9
PAVIMENTO	
TÉRREO	
ESCALA	

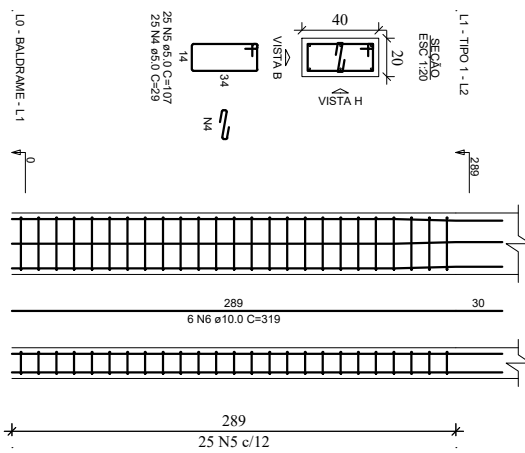


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	10
ESCALA	
PAVIMENTO	
TÉRREO	

P14=P15=P16=P17=P18

VISTA H
ESC: 1/25

VISTA B
ESC: 1/25



RELAÇÃO DO AÇO

15-P1
P13
P23

5-P5
5-P14

2-P12
P20

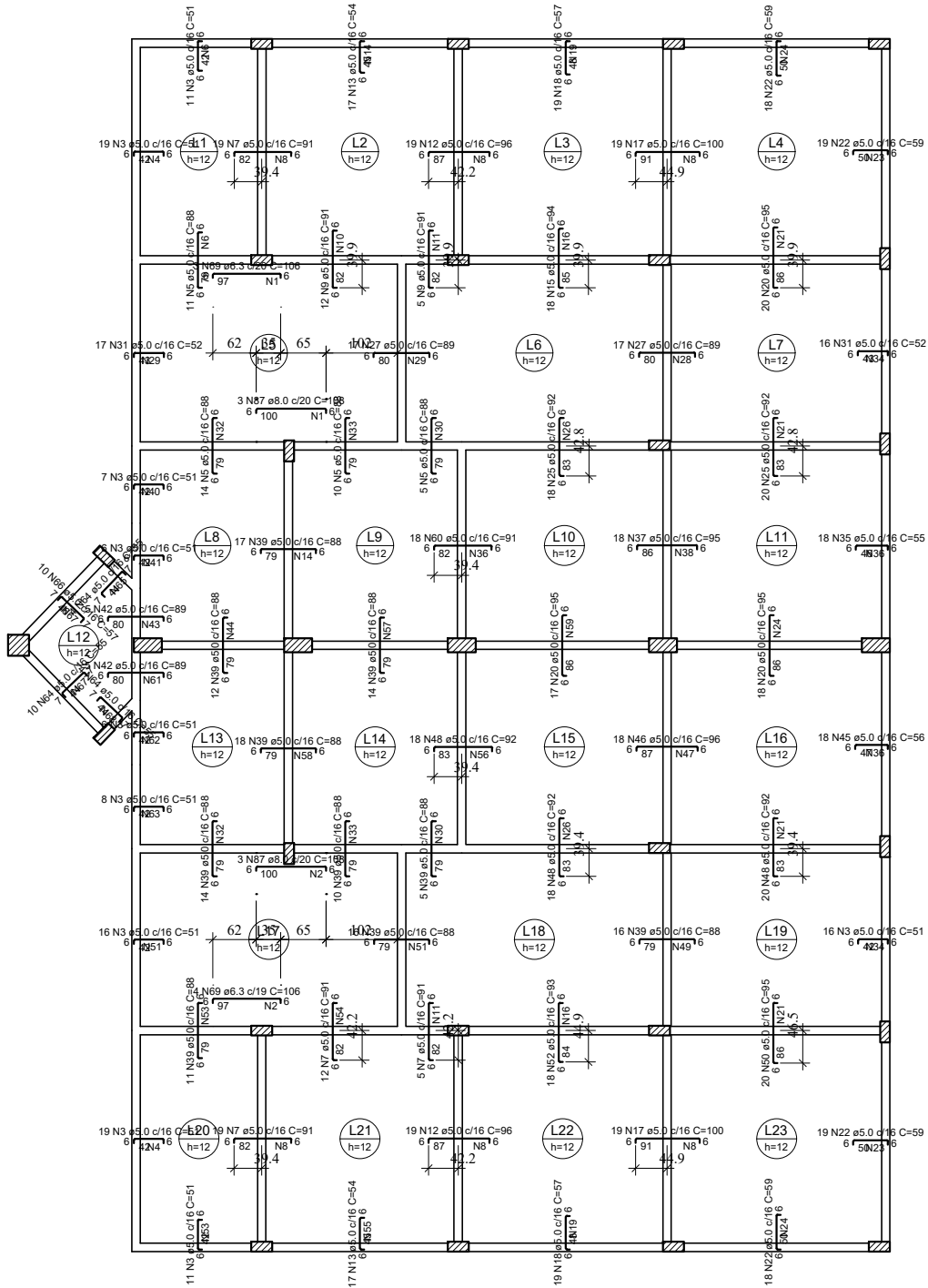
ACO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5,0	586	73	44700
	2	5,0	285	73	24400
	3	5,0	29	103	2987
	4	5,0	125	129	3625
	5	5,0	125	107	3375
CA50	6	10,0	125	319	4344
	7	10,0	20	288	5720
	8	12,5	8	327	2616
	9	12,5	8	288	2288

RESUMO DO AÇO

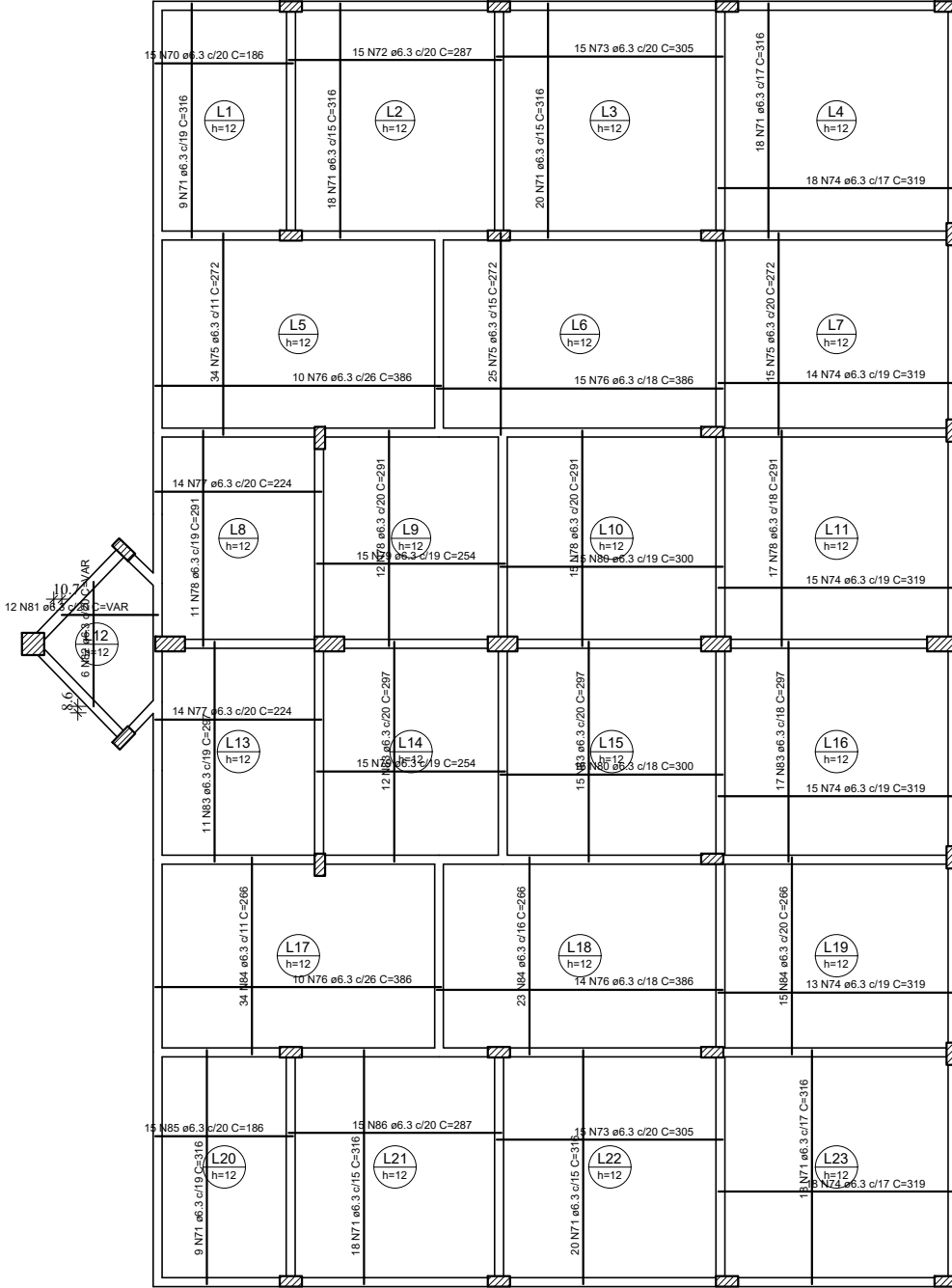
ACO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	10,0	459,1	311,4
CA60	12,5	49	52
CA60	5,0	6929	117,5
PESO TOTAL (kg)			
CA50	363,4		
CA60	117,5		

Volume de concreto (C-35) = 4,33 m³
Área de forma = 81,84 m²

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	11
ESCALA	
PAVIMENTO	TÉRREO
	11

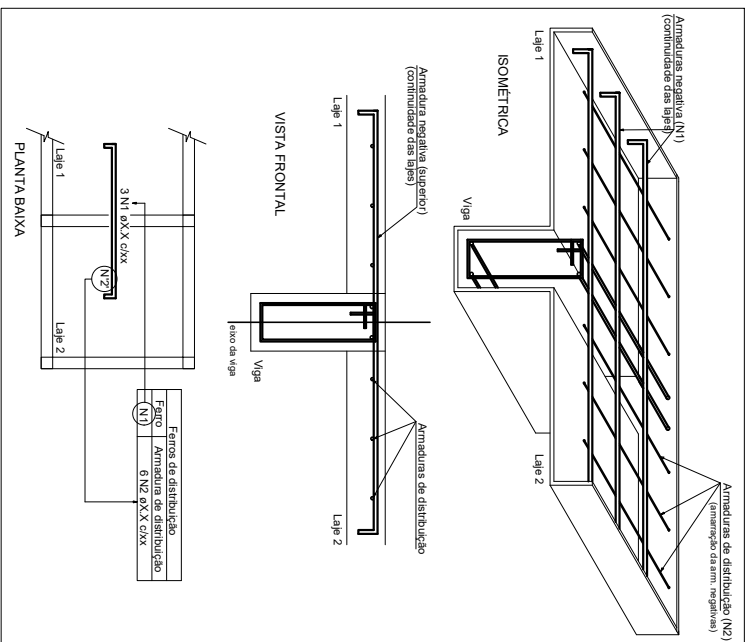


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
CONTEÚDO	ARMADURA NEGATIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	12
TÉRREO	



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
CONTEÚDO	ARMADURA POSITIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	13
TÉRREO	

DETALHE DA ARMADURA DE SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



RESUMO DO AÇO

ACO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	8	211,2	539,2
CA60	8,0	214,5	529,8
CA60	5,0	1353,8	229,5
PESO TOTAL (kg)			
CA50	571,1		
CA60	229,5		

Volume de concreto (C-35) = 20,66 m³
 Área de forma = 172,15 m²

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	1
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO LAJE	FOLHA
ESCALA	14
PAVIMENTO	TÉRREO

PROJETO ESTRUTURAL

CADERNO Nº 2

PROPRIETÁRIO:

OBRA:

RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR

PAVIMENTO:

1º PAVIMENTO

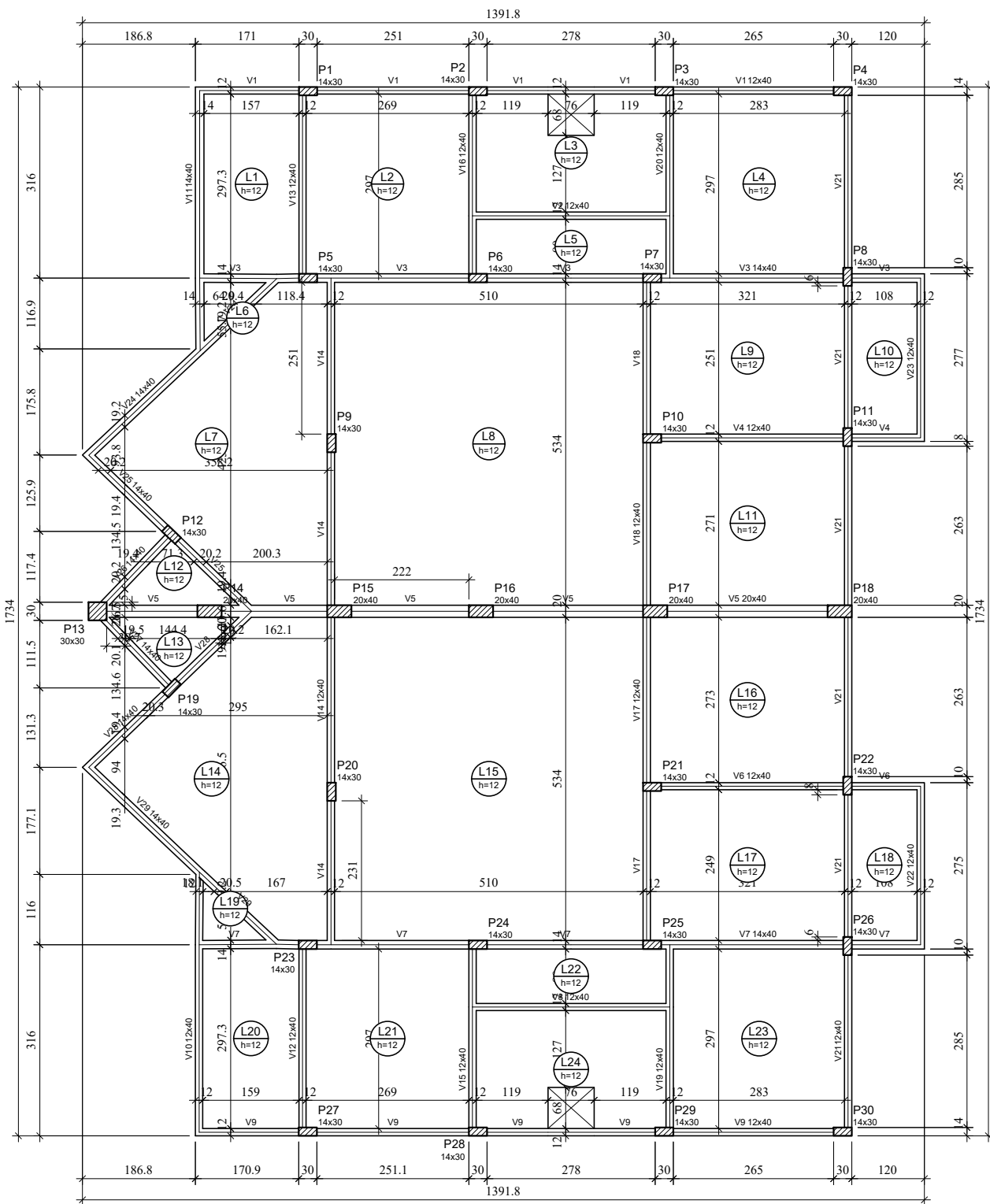
OBSEERVAÇÕES:

EXECUTAR EXATAMENTE CONFORME O PROJETO:

CONTEÚDO:

VIGAS, PILARES E LAJE.

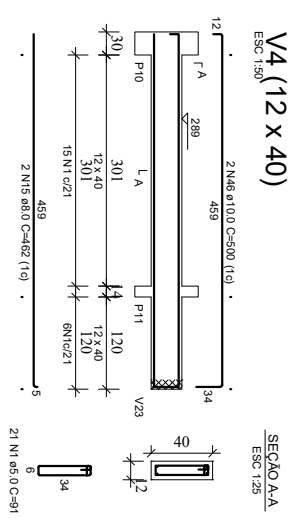
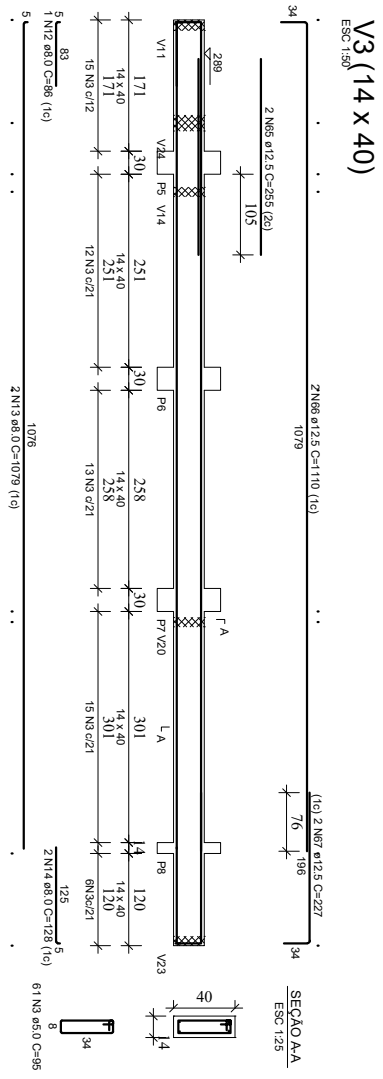
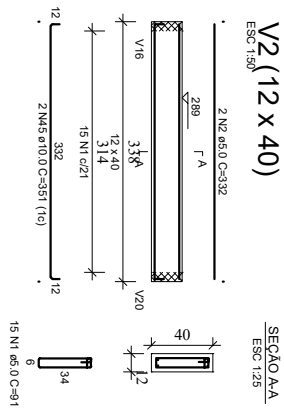
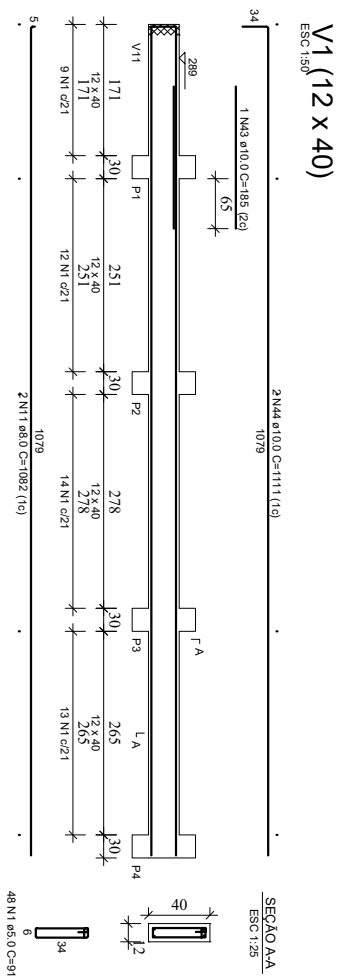
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO



Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

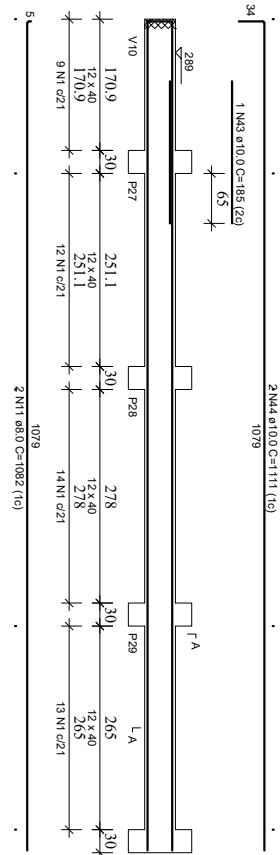
Legenda das vigas e paredes	
	Viga

PLANTA DE FORMA: 1º PAVIMENTO
Sem escala

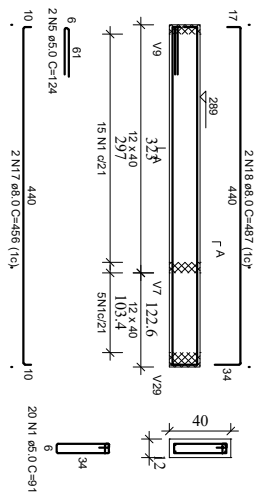


PROPRIETÁRIO		CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	2
CONTEÚDO	VIGAS	FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO 1º PAVIMENTO	2

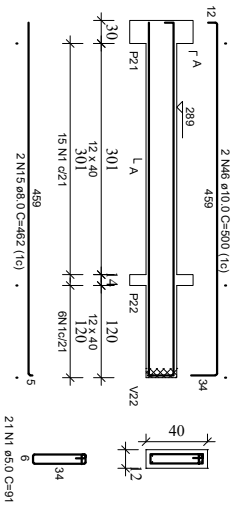
V9 (12 x 40)



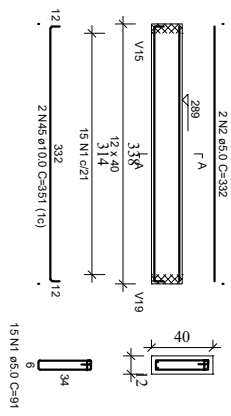
V10 (12 x 40)



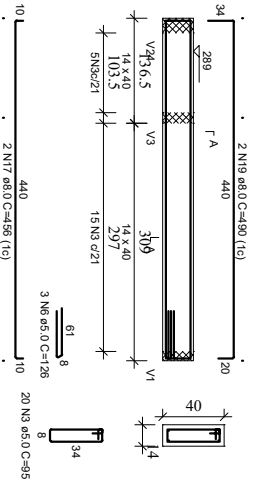
V6 (12 x 40)



V8 (12 x 40)

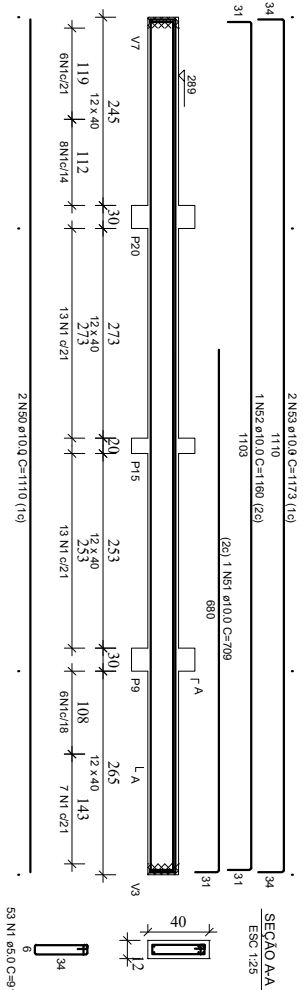


V11 (14 x 40)

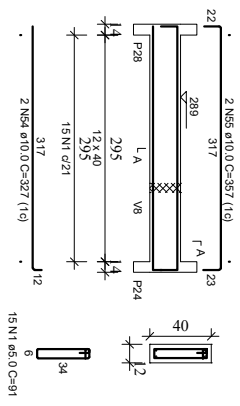


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	4
ESCALA	
PAVIMENTO	1º PAVIMENTO

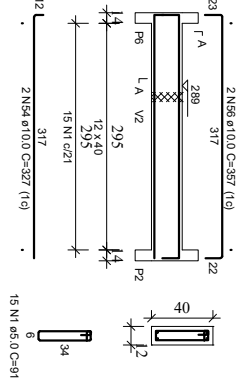
V14 (12 x 40)



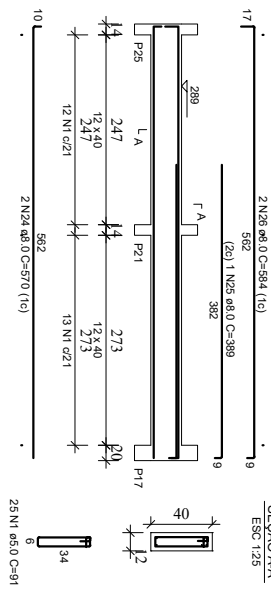
V15 (12 x 40)



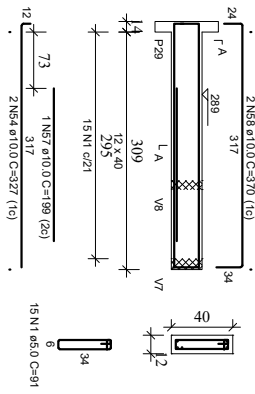
V16 (12 x 40)



V17 (12 x 40)



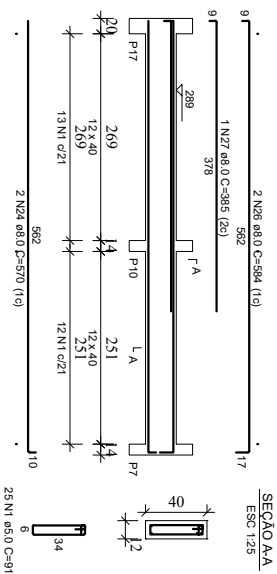
V19 (12 x 40)



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	5
ESCALA	
PAVIMENTO	1º PAVIMENTO

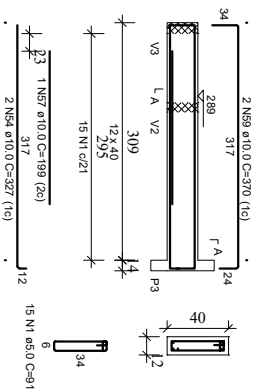
V18 (12 x 40)

ESC:1:50



V20 (12 x 40)

ESC:1:50

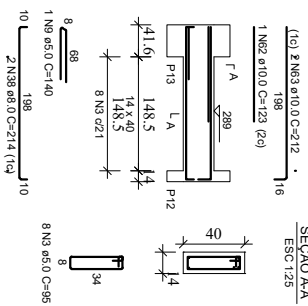


SEÇÃO A-A

ESC:1:25

V26 (14 x 40)

ESC:1:50

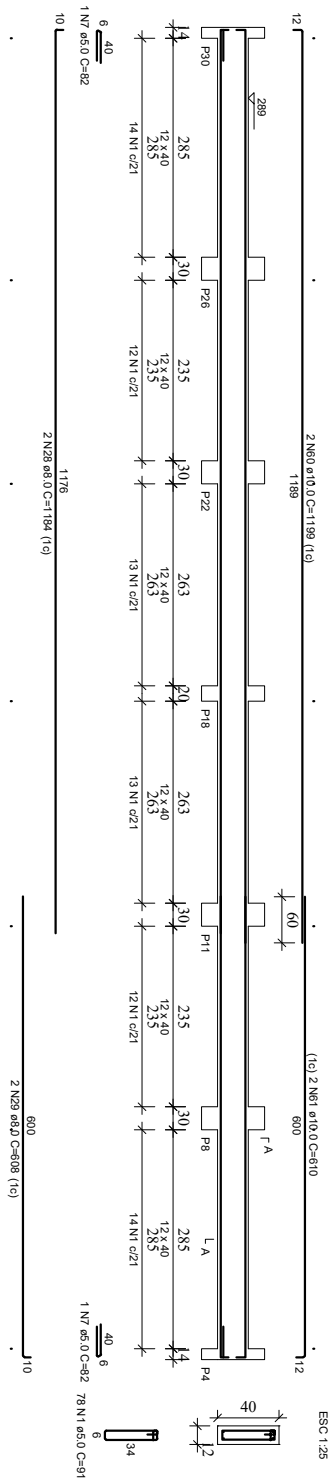


SEÇÃO A-A

ESC:1:25

V21 (12 x 40)

ESC:1:50

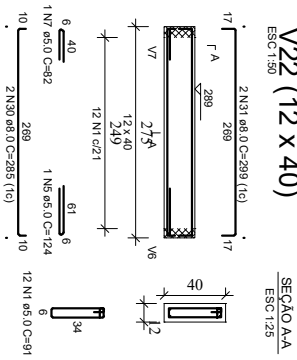


SEÇÃO A-A

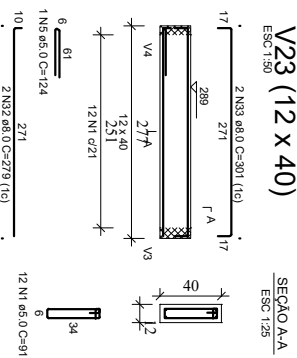
ESC:1:25

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	6
ESCALA	
PAVIMENTO	
1º PAVIMENTO	

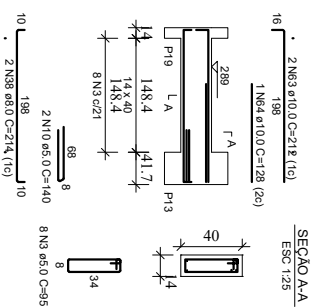
V22 (12 x 40)



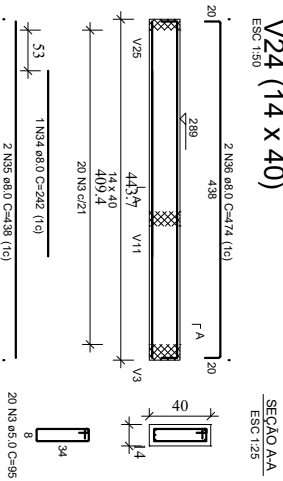
V23 (12 x 40)



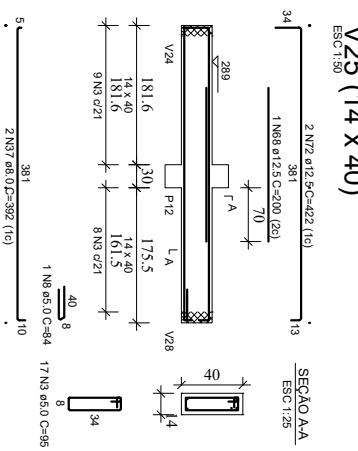
V27 (14 x 40)



V24 (14 x 40)



V25 (14 x 40)



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	7
ESCALA	
PAVIMENTO	1º PAVIMENTO

RESUMO DO AÇO

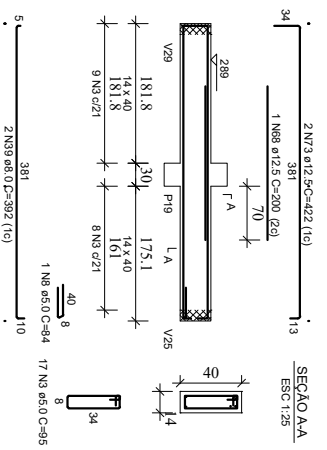
ACO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	8,0	357,6	1552,2
CA50	10,0	281,9	1912,4
CA80	12,5	200,2	1274,4
CA80	15,0	160,3	150
PESO TOTAL			4738
CA50	4738		
CA80	130		

Volume de concreto (C-35) = 8,05 m³
 Área de forma = 113,29 m²

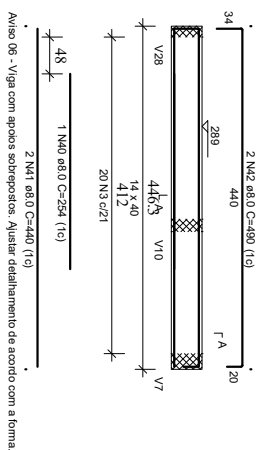
RELAÇÃO DO AÇO

ACO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA80	1	5,0	483	91	43953
CA80	2	5,0	4	332	1328
CA80	3	5,0	232	95	22040
CA80	4	5,0	124	486	60000
CA80	5	5,0	4	124	486
CA80	6	5,0	3	126	378
CA80	7	5,0	5	82	410
CA80	8	5,0	1	140	560
CA80	9	5,0	1	140	560
CA80	10	5,0	2	140	280
CA80	11	5,0	4	1082	4328
CA80	12	5,0	1	56	224
CA80	13	5,0	1	56	224
CA80	14	5,0	4	128	512
CA80	15	5,0	4	462	1848
CA80	16	5,0	4	86	344
CA80	17	5,0	4	483	1848
CA80	18	5,0	2	487	974
CA80	19	5,0	2	487	974
CA80	20	5,0	2	487	974
CA80	21	5,0	4	333	1332
CA80	22	5,0	1	139	556
CA80	23	5,0	2	354	1416
CA80	24	5,0	4	570	2280
CA80	25	5,0	4	389	1556
CA80	26	5,0	4	389	1556
CA80	27	5,0	1	385	1540
CA80	28	5,0	1	385	1540
CA80	29	5,0	2	608	2432
CA80	30	5,0	2	279	1116
CA80	31	5,0	2	279	1116
CA80	32	5,0	2	279	1116
CA80	33	5,0	2	301	1204
CA80	34	5,0	2	242	968
CA80	35	5,0	1	432	1728
CA80	36	5,0	2	474	1896
CA80	37	5,0	2	392	1568
CA80	38	5,0	2	214	856
CA80	39	5,0	1	254	1016
CA80	40	5,0	1	254	1016
CA80	41	5,0	2	440	1760
CA80	42	5,0	2	480	1920
CA80	43	5,0	2	480	1920
CA80	44	5,0	4	351	1404
CA80	45	5,0	4	351	1404
CA80	46	5,0	2	572	2288
CA80	47	5,0	2	704	2816
CA80	48	5,0	2	352	1408
CA80	49	5,0	2	1110	4440
CA80	50	5,0	2	1110	4440
CA80	51	5,0	1	1709	6836
CA80	52	5,0	1	1709	6836
CA80	53	5,0	2	1173	4692
CA80	54	5,0	8	327	1308
CA80	55	5,0	2	357	1428
CA80	56	5,0	2	357	1428
CA80	57	5,0	2	189	756
CA80	58	5,0	2	370	1480
CA80	59	5,0	2	370	1480
CA80	60	5,0	2	130	520
CA80	61	5,0	2	610	2440
CA80	62	5,0	1	123	492
CA80	63	5,0	4	212	848
CA80	64	5,0	4	228	912
CA80	65	5,0	4	228	912
CA80	66	5,0	4	1110	4440
CA80	67	5,0	3	227	908
CA80	68	5,0	3	207	828
CA80	69	5,0	2	1136	4544
CA80	70	5,0	2	194	776
CA80	71	5,0	2	194	776
CA80	72	5,0	2	422	1688
CA80	73	5,0	2	422	1688

V28 (14 x 40)



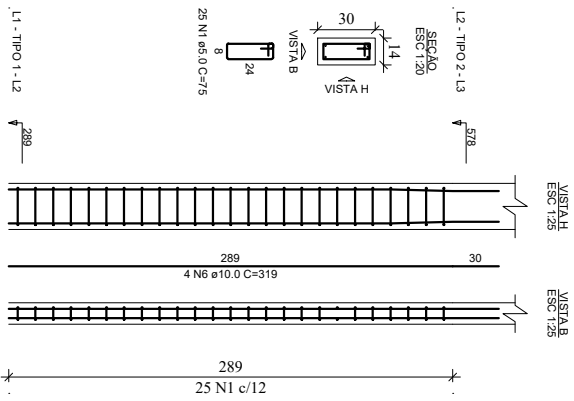
V29 (14 x 40)



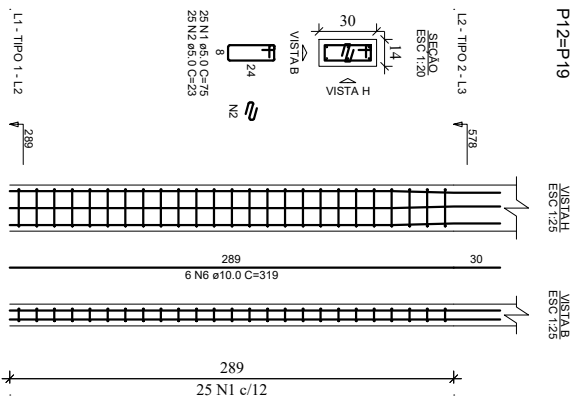
Atenção: Vigas com apoios sobressaídos. Ajustar detalhamento de acordo com a forma.

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	8
ESCALA	
PAVIMENTO	1º PAVIMENTO

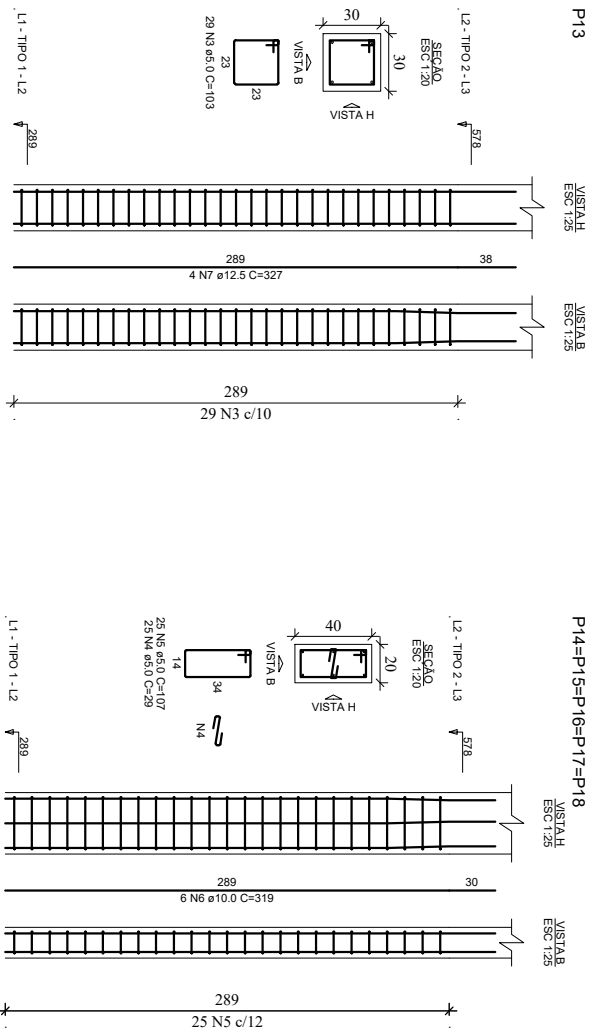
P1=P2=P3=P4=P5=P6=
 =P7=P8=P9=P10=P11=
 =P20=P21=P22=P23=
 =P24=P25=P26=P27=
 =P28=P29=P30



P12=P19



PROPRIETARIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	9
ESCALA	
PAVIMENTO	
1º PAVIMENTO	



22xP1
2xP14
2xP12
P13

RELAÇÃO DO AÇO

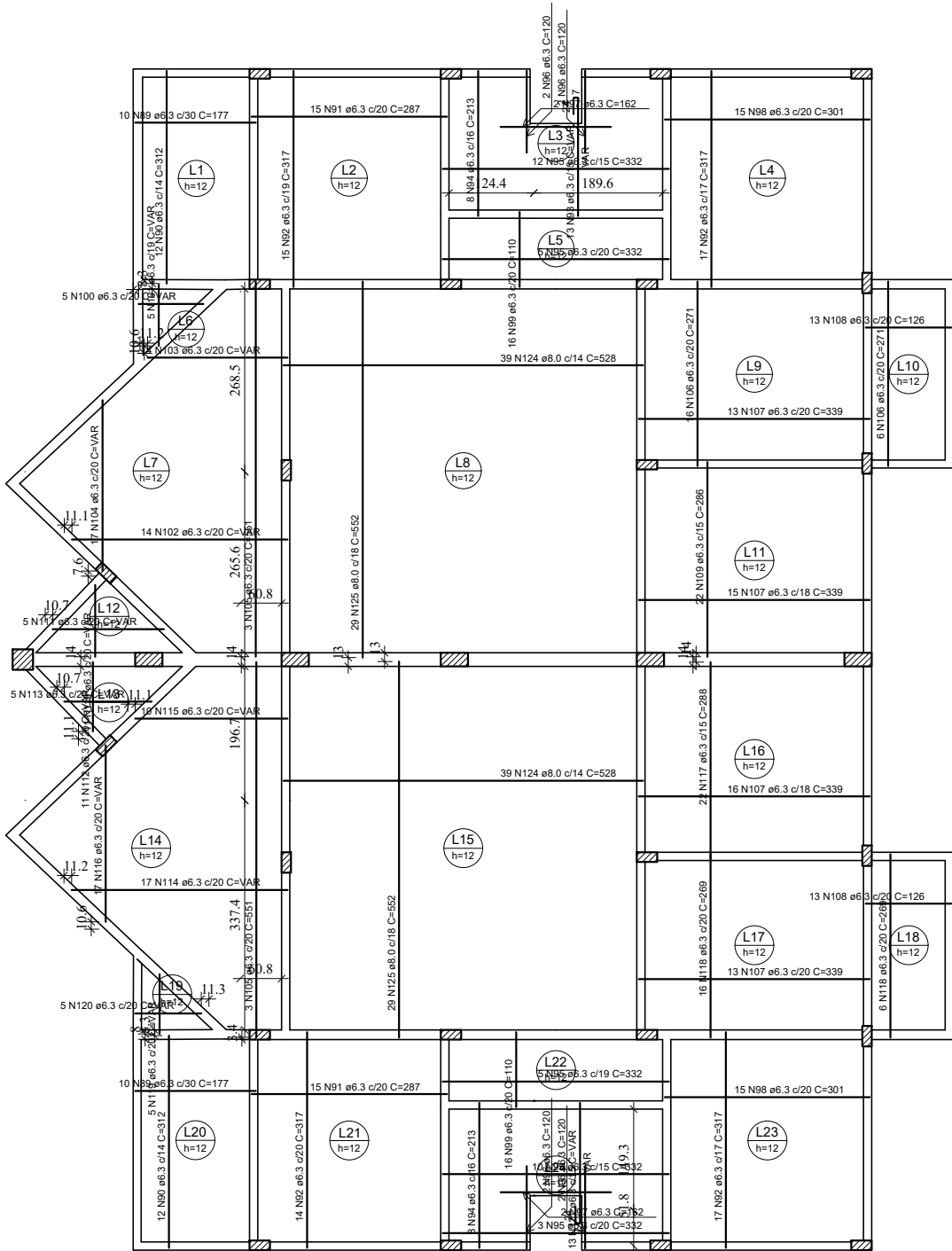
ACAO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA80	1	5.0	600	75	45000
CA80	2	5.0	50	23	1150
CA80	3	5.0	125	28	3500
CA80	4	5.0	125	107	13375
CA80	5	5.0	130	319	41470
CA80	6	10.0	4	327	1308
CA80	7	12.5			

RESUMO DO AÇO

ACAO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA80	10.0	414.7	281.2
CA80	12.5	13.1	13.9
CA80	5.0	681.4	112.1
PESO TOTAL (kg)			407.2
CA80	295.1		
CA80	112.1		

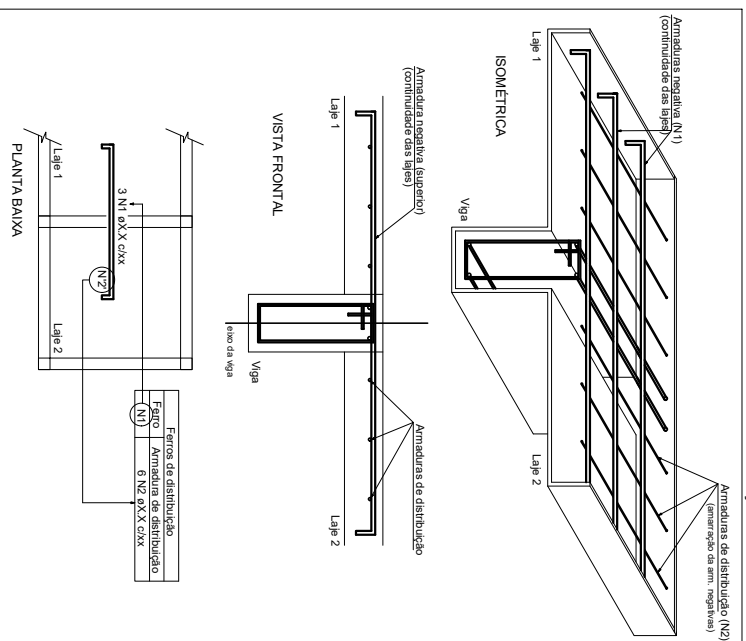
Volume de concreto (C-35) = 4.33 m³
Area de forma = 81.84 m²

PROPRIETARIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEUDO	FOLHA
PILARES	10
PAVIMENTO	
1º PAVIMENTO	
ESCALA	

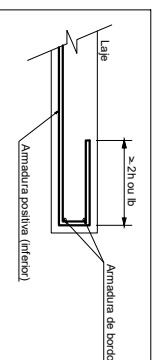


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
CONTEÚDO	ARMADURA NEGATIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	11
	1º PAVIMENTO

DETALHE DA ARMADURA DE SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



DETALHE DA ARMADURA
DE BORDO LIVRE DA LAJE



RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C. TOTAL (kg)	PESO - 10% (kg)
CA50	6,3	1628,6	438,4
CA50	8,0	789,9	342,8
CA60	10,0	272	184,5
CA60	5,0	1657,9	281,1
PESO TOTAL (kg)			
CA50		965,7	
CA60		281,1	

Volume de concreto (C-35) = 21,86 m³
Área de forma = 182,73 m²

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	2
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO LAJE	FOLHA
ESCALA	13
PAVIMENTO	1º PAVIMENTO

PROJETO ESTRUTURAL

CADERNO Nº 3

PROPRIETÁRIO:

OBRA:

RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR

PAVIMENTO:

2º PAVIMENTO

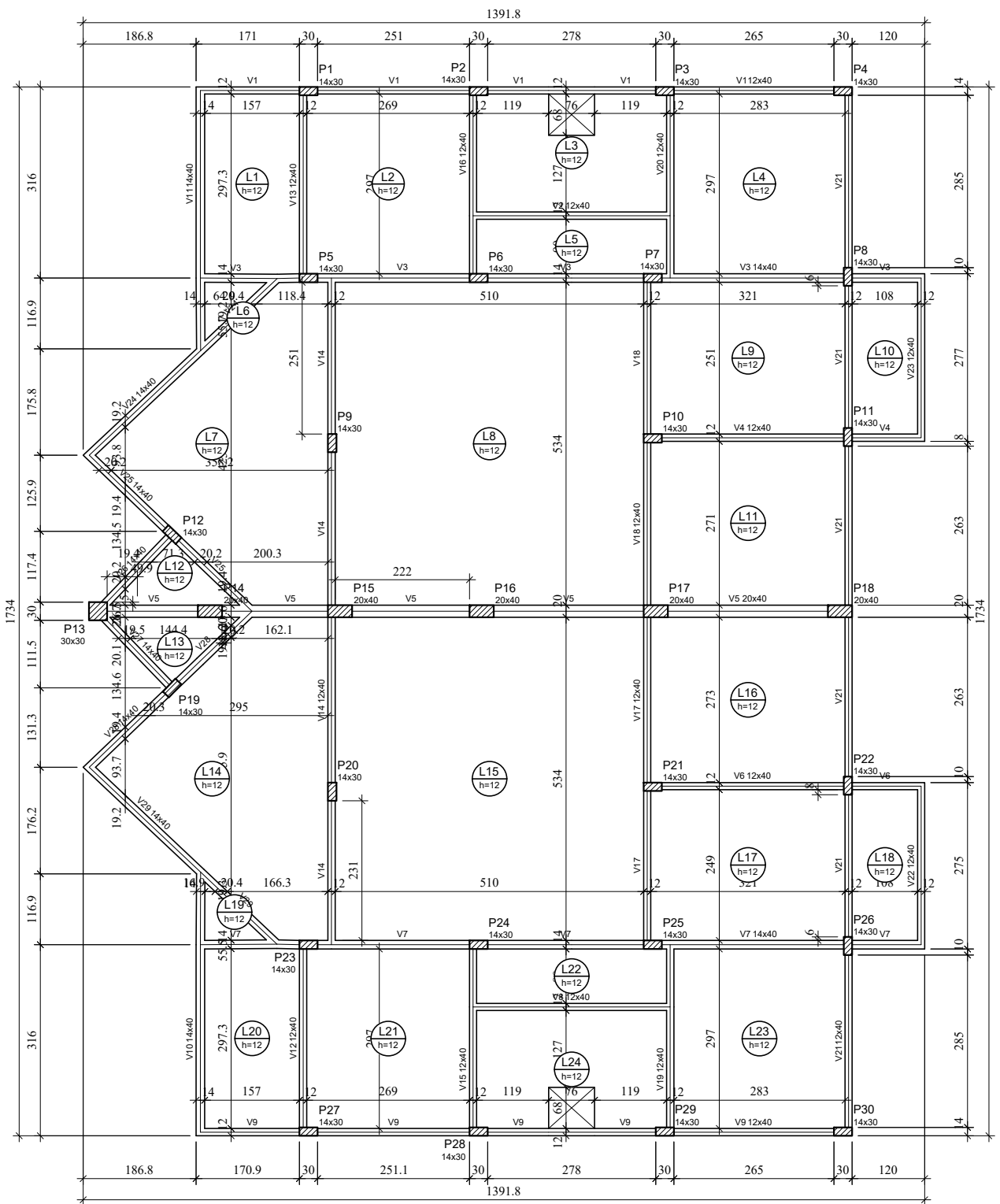
OBSEERVAÇÕES:

EXECUTAR EXATAMENTE CONFORME O PROJETO:

CONTEÚDO:

VIGAS, PILARES E LAJE.

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO



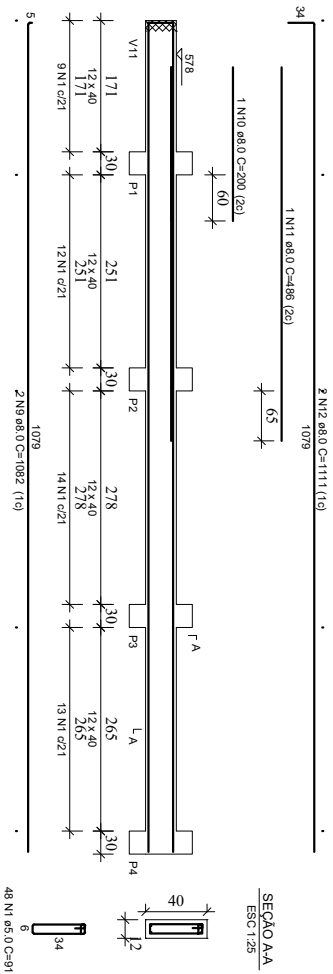
Legenda dos pilares	
	Pilar que passa

Legenda das vigas e paredes	
	Viga

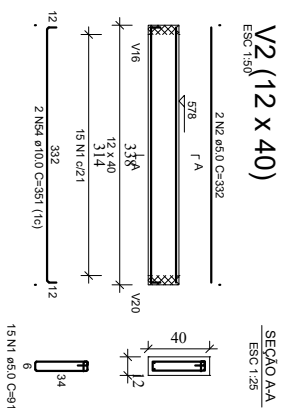
PLANTA DE FORMA: 2º PAVIMENTO

Sem escala

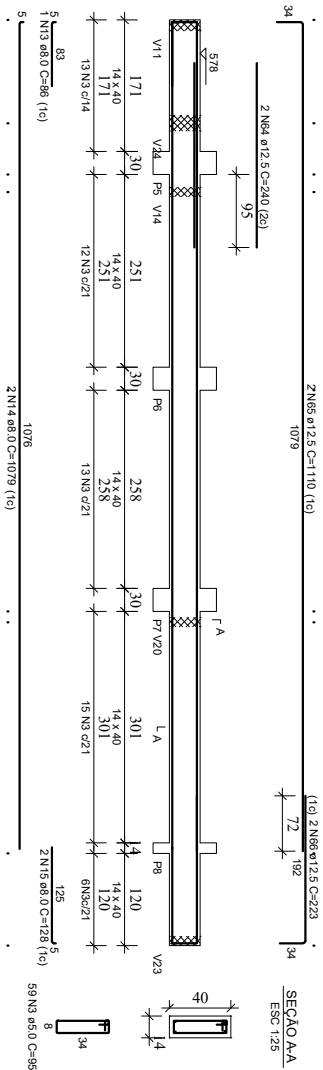
V1 (12 x 40)



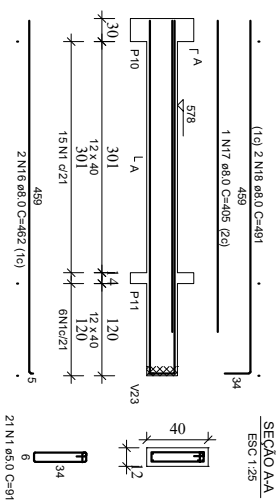
V2 (12 x 40)



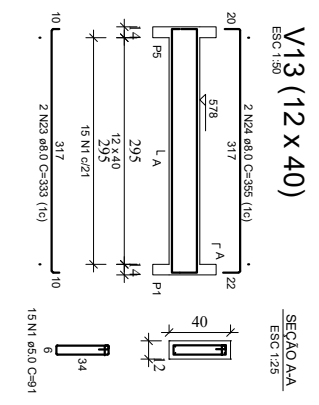
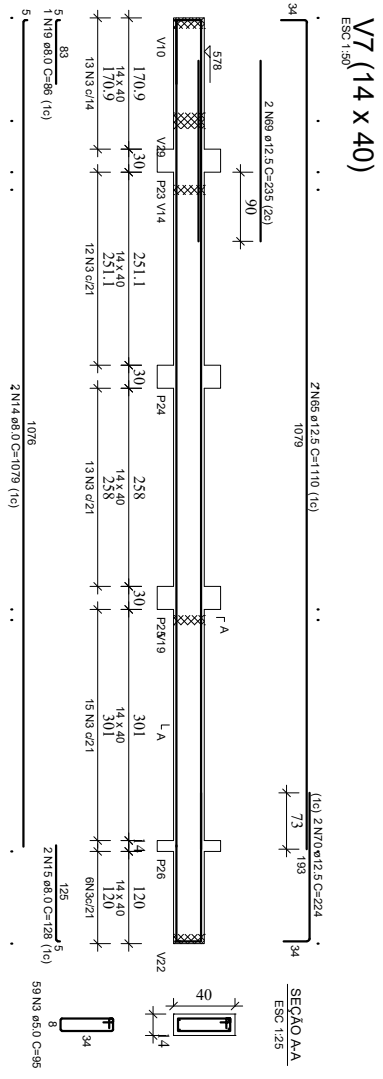
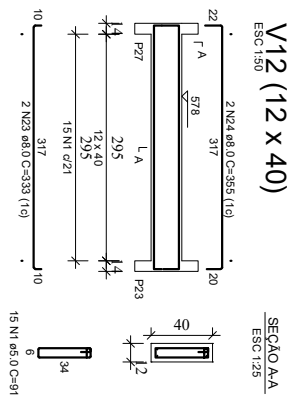
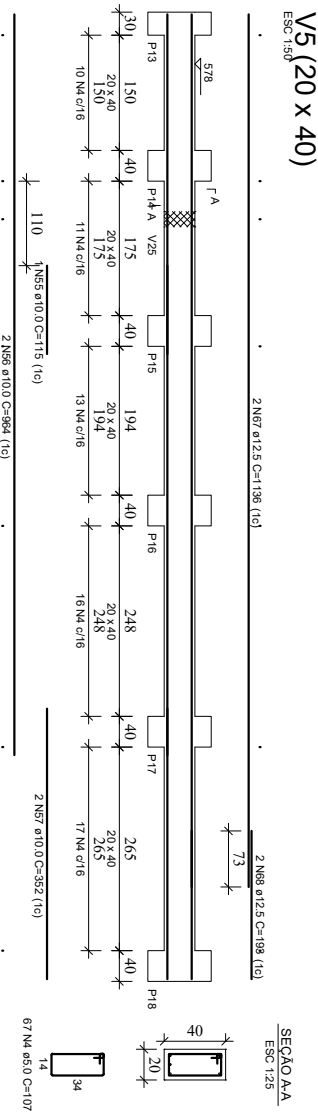
V3 (14 x 40)



V4 (12 x 40)

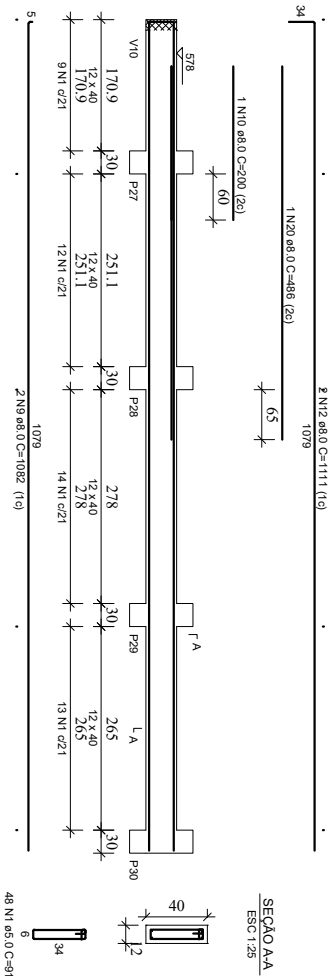


PROPRIETÁRIO		CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	3
CONTEÚDO	VIGAS	FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO 2º PAVIMENTO	2

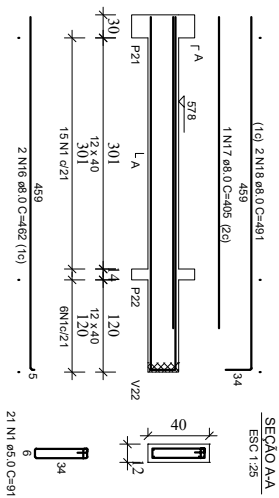


PROPRIETÁRIO			CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR		3
CONTEÚDO	VIGAS		FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO	2.º PAVIMENTO	3

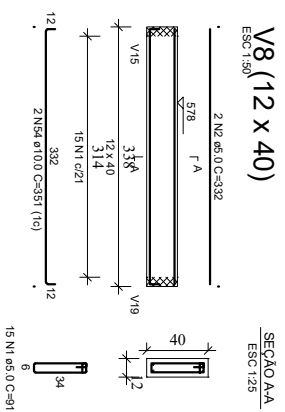
V9 (12 x 40)



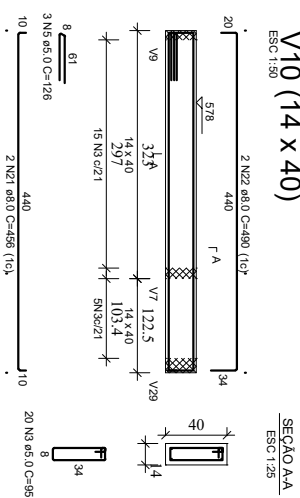
V6 (12 x 40)



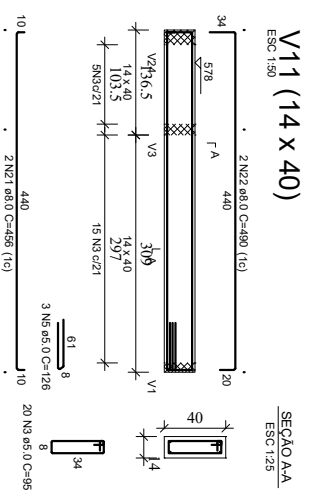
V8 (12 x 40)



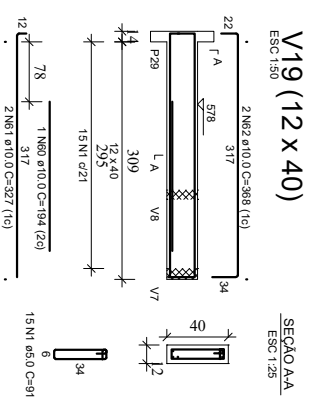
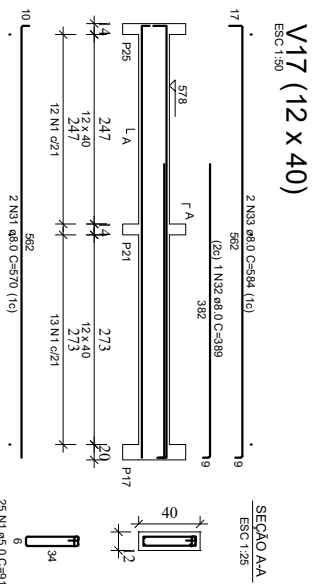
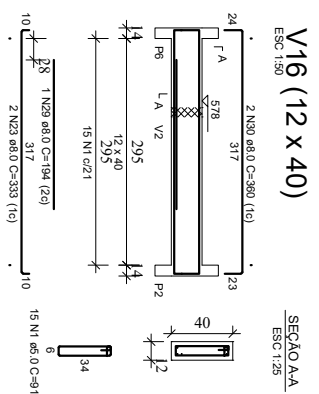
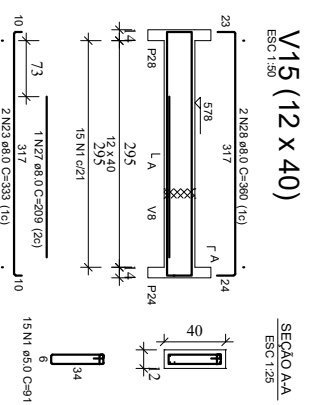
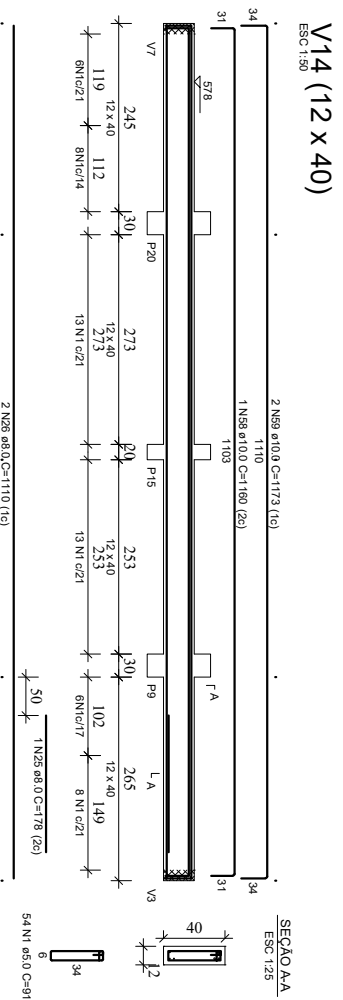
V10 (14 x 40)



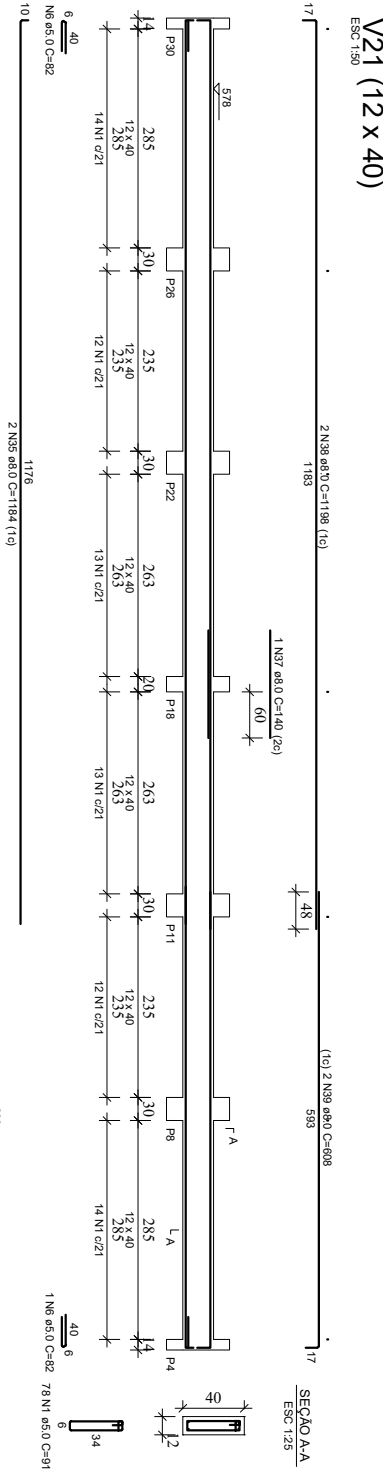
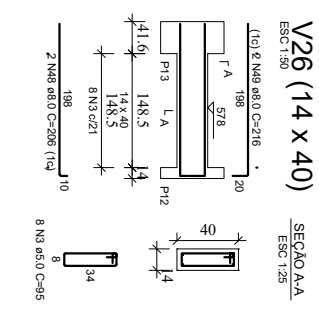
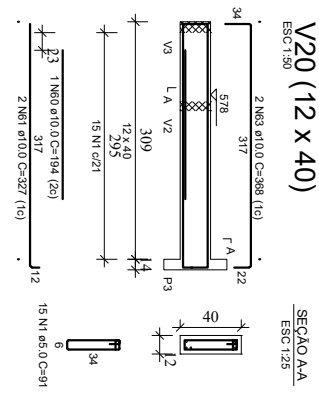
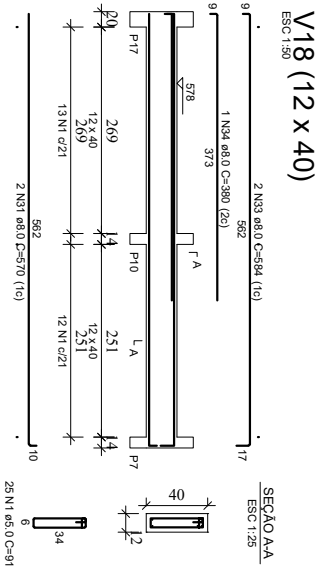
V11 (14 x 40)



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	4
ESCALA	
PAVIMENTO	2º PAVIMENTO



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	5
ESCALA	
PAVIMENTO	2º PAVIMENTO

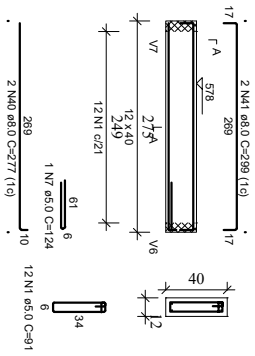


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	6
ESCALA	
PAVIMENTO	
2.º PAVIMENTO	

V22 (12 x 40)

ESC:1/50

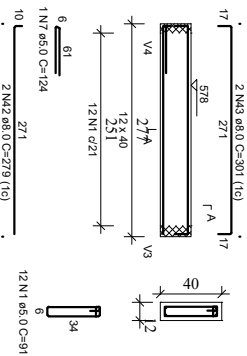
SEÇÃO AAA
ESC:1/25



V23 (12 x 40)

ESC:1/50

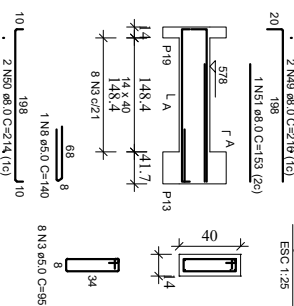
SEÇÃO AAA
ESC:1/25



V27 (14 x 40)

ESC:1/50

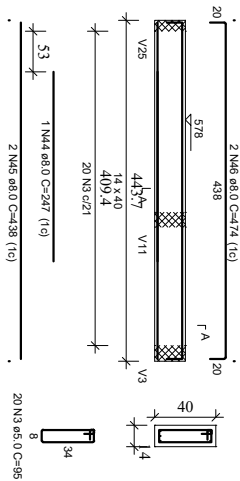
SEÇÃO AAA
ESC:1/25



V24 (14 x 40)

ESC:1/50

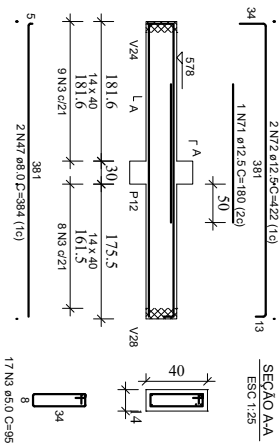
SEÇÃO AAA
ESC:1/25



V25 (14 x 40)

ESC:1/50

SEÇÃO AAA
ESC:1/25



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRAS	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	7
ESCALA	
PAVIMENTO	
2º PAVIMENTO	

RESUMO DO AÇO

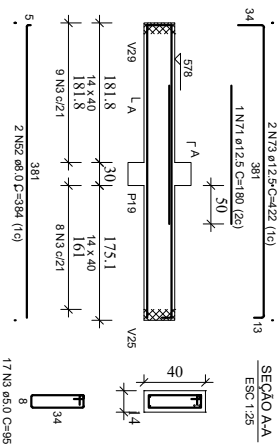
AÇO	DIAM (mm)	C TOTAL (m)	PESO+10% (kg)
CA50	8.0	544.7	235.4
CA50	10.0	108.3	73.4
CA60	5.0	753.9	120.2
PESO TOTAL			429.0
CA50	426.3		
CA60	126.2		

Volume de concreto (C-35) = 8,08 m³
 Área de forma = 113,38 m²

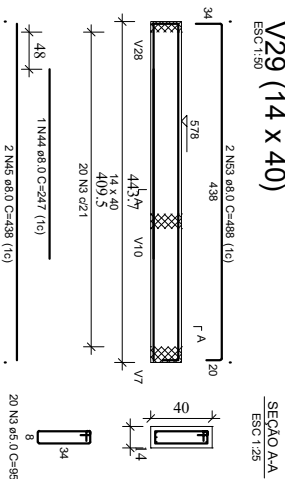
RELAÇÃO DO AÇO

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C UNIT (cm)	C TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	464	91	42224
CA60	2	5.0	248	332	13288
CA60	3	5.0	67	107	23569
CA60	4	5.0	6	126	756
CA60	5	5.0	6	82	164
CA60	6	5.0	2	124	248
CA60	7	5.0	1	124	124
CA60	8	5.0	4	1082	4328
CA60	9	8.0	4	200	400
CA60	10	8.0	4	200	400
CA60	11	8.0	4	148	488
CA60	12	8.0	4	148	488
CA60	13	8.0	4	1079	4316
CA60	14	8.0	4	128	512
CA60	15	8.0	4	402	1608
CA60	16	8.0	4	491	1964
CA60	17	8.0	4	491	1964
CA60	18	8.0	4	491	1964
CA60	19	8.0	4	491	1964
CA60	20	8.0	4	491	1964
CA60	21	8.0	4	491	1964
CA60	22	8.0	4	491	1964
CA60	23	8.0	4	491	1964
CA60	24	8.0	4	491	1964
CA60	25	8.0	4	491	1964
CA60	26	8.0	4	491	1964
CA60	27	8.0	4	491	1964
CA60	28	8.0	4	491	1964
CA60	29	8.0	4	491	1964
CA60	30	8.0	4	491	1964
CA60	31	8.0	4	491	1964
CA60	32	8.0	4	491	1964
CA60	33	8.0	4	491	1964
CA60	34	8.0	4	491	1964
CA60	35	8.0	4	491	1964
CA60	36	8.0	4	491	1964
CA60	37	8.0	4	491	1964
CA60	38	8.0	4	491	1964
CA60	39	8.0	4	491	1964
CA60	40	8.0	4	491	1964
CA60	41	8.0	4	491	1964
CA60	42	8.0	4	491	1964
CA60	43	8.0	4	491	1964
CA60	44	8.0	4	491	1964
CA60	45	8.0	4	491	1964
CA60	46	8.0	4	491	1964
CA60	47	8.0	4	491	1964
CA60	48	8.0	4	491	1964
CA60	49	8.0	4	491	1964
CA60	50	8.0	4	491	1964
CA60	51	8.0	4	491	1964
CA60	52	8.0	4	491	1964
CA60	53	8.0	4	491	1964
CA60	54	8.0	4	491	1964
CA60	55	8.0	4	491	1964
CA60	56	8.0	4	491	1964
CA60	57	8.0	4	491	1964
CA60	58	8.0	4	491	1964
CA60	59	8.0	4	491	1964
CA60	60	8.0	4	491	1964
CA60	61	8.0	4	491	1964
CA60	62	8.0	4	491	1964
CA60	63	8.0	4	491	1964
CA60	64	8.0	4	491	1964
CA60	65	8.0	4	491	1964
CA60	66	8.0	4	491	1964
CA60	67	8.0	4	491	1964
CA60	68	8.0	4	491	1964
CA60	69	8.0	4	491	1964
CA60	70	8.0	4	491	1964
CA60	71	8.0	4	491	1964
CA60	72	8.0	4	491	1964
CA60	73	8.0	4	491	1964
CA60	74	8.0	4	491	1964
CA60	75	8.0	4	491	1964
CA60	76	8.0	4	491	1964
CA60	77	8.0	4	491	1964
CA60	78	8.0	4	491	1964
CA60	79	8.0	4	491	1964
CA60	80	8.0	4	491	1964
CA60	81	8.0	4	491	1964
CA60	82	8.0	4	491	1964
CA60	83	8.0	4	491	1964
CA60	84	8.0	4	491	1964
CA60	85	8.0	4	491	1964
CA60	86	8.0	4	491	1964
CA60	87	8.0	4	491	1964
CA60	88	8.0	4	491	1964
CA60	89	8.0	4	491	1964
CA60	90	8.0	4	491	1964
CA60	91	8.0	4	491	1964
CA60	92	8.0	4	491	1964
CA60	93	8.0	4	491	1964
CA60	94	8.0	4	491	1964
CA60	95	8.0	4	491	1964
CA60	96	8.0	4	491	1964
CA60	97	8.0	4	491	1964
CA60	98	8.0	4	491	1964
CA60	99	8.0	4	491	1964
CA60	100	8.0	4	491	1964

V28 (14 x 40)

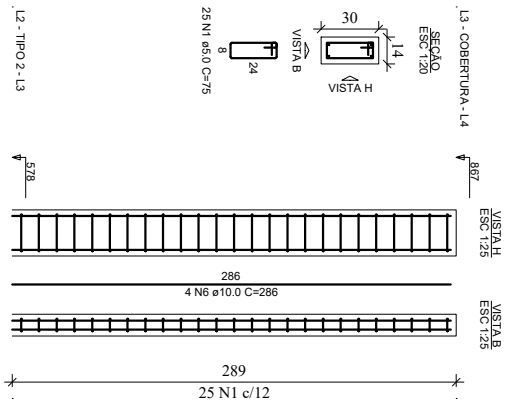


V29 (14 x 40)

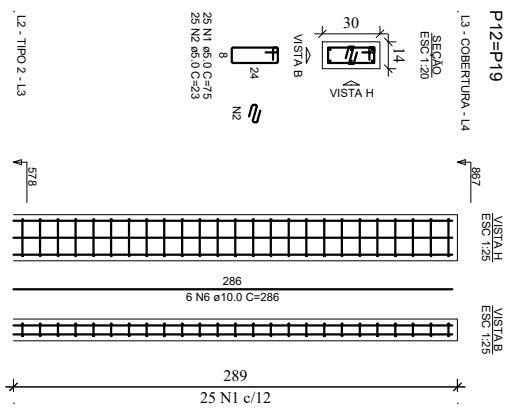


PROPRIETÁRIO		CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	3
CONTEÚDO	VIGAS	FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO 2º PAVIMENTO	8

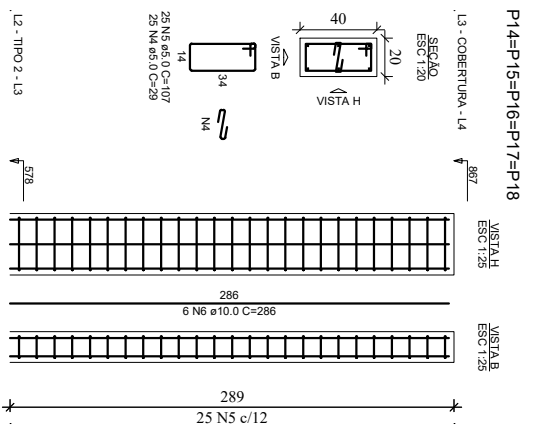
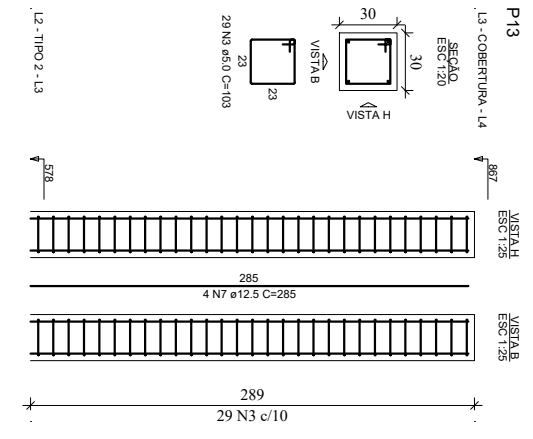
P1=P2=P3=P4=P5=P6=P7=
 =P8=P9=P10=P11=P20=P21=
 =P22=P23=P24=P25=P26=
 =P27=P28=P29=P30



P12=P19



PROPRIETARIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	9
ESCALA	
PAVIMENTO	
2º PAVIMENTO	



RELAÇÃO DO AÇO

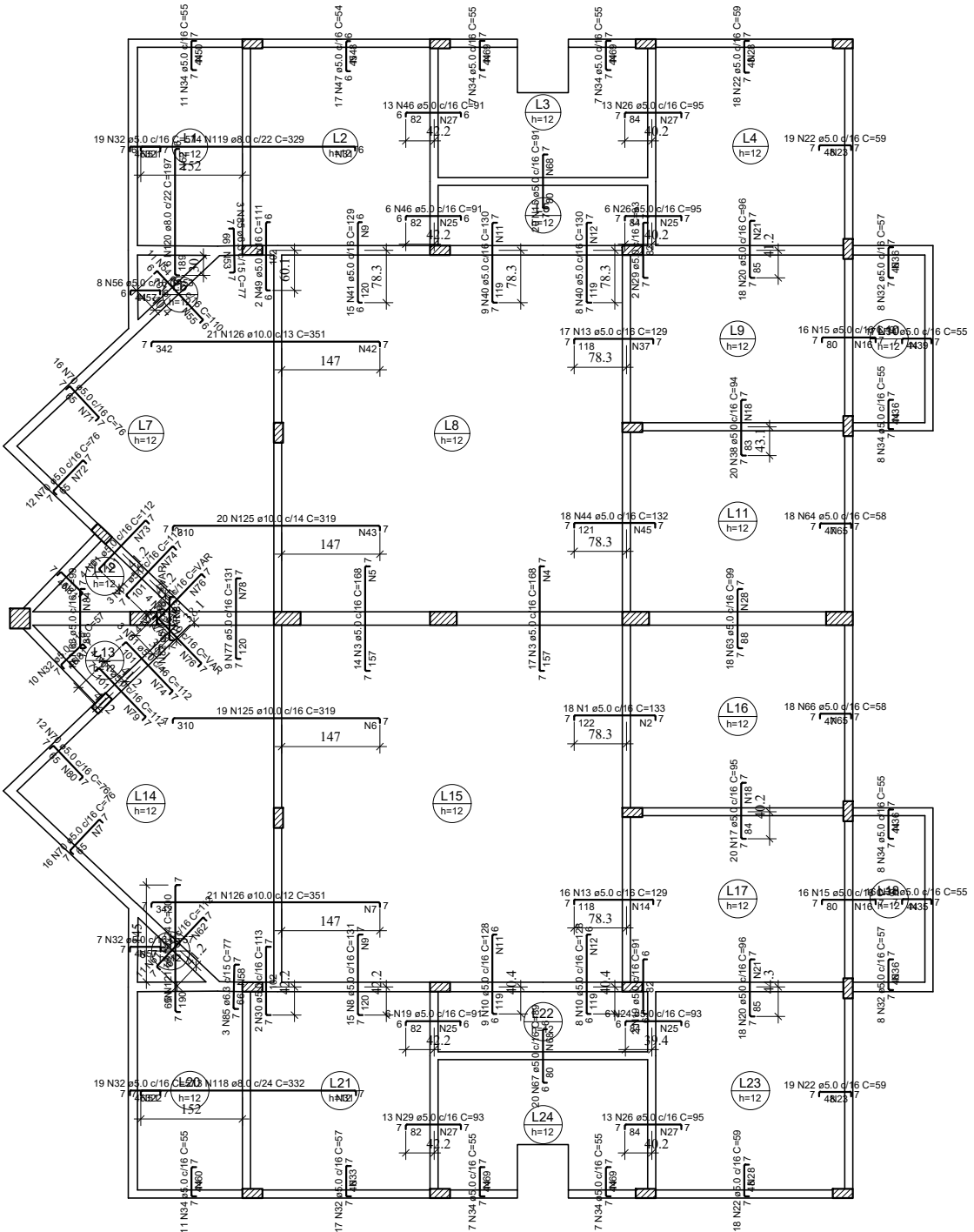
22xP1	22xP12	P13
CA50	CA50	CA50
N	DIAM (mm)	QUANT
1	5.0	600
2	5.0	50
3	5.0	29
4	5.0	125
5	5.0	103
6	10.0	130
7	12.5	4
		285
		75
		23
		103
		2887
		107
		13325
		37180
		11440

RESUMO DO AÇO

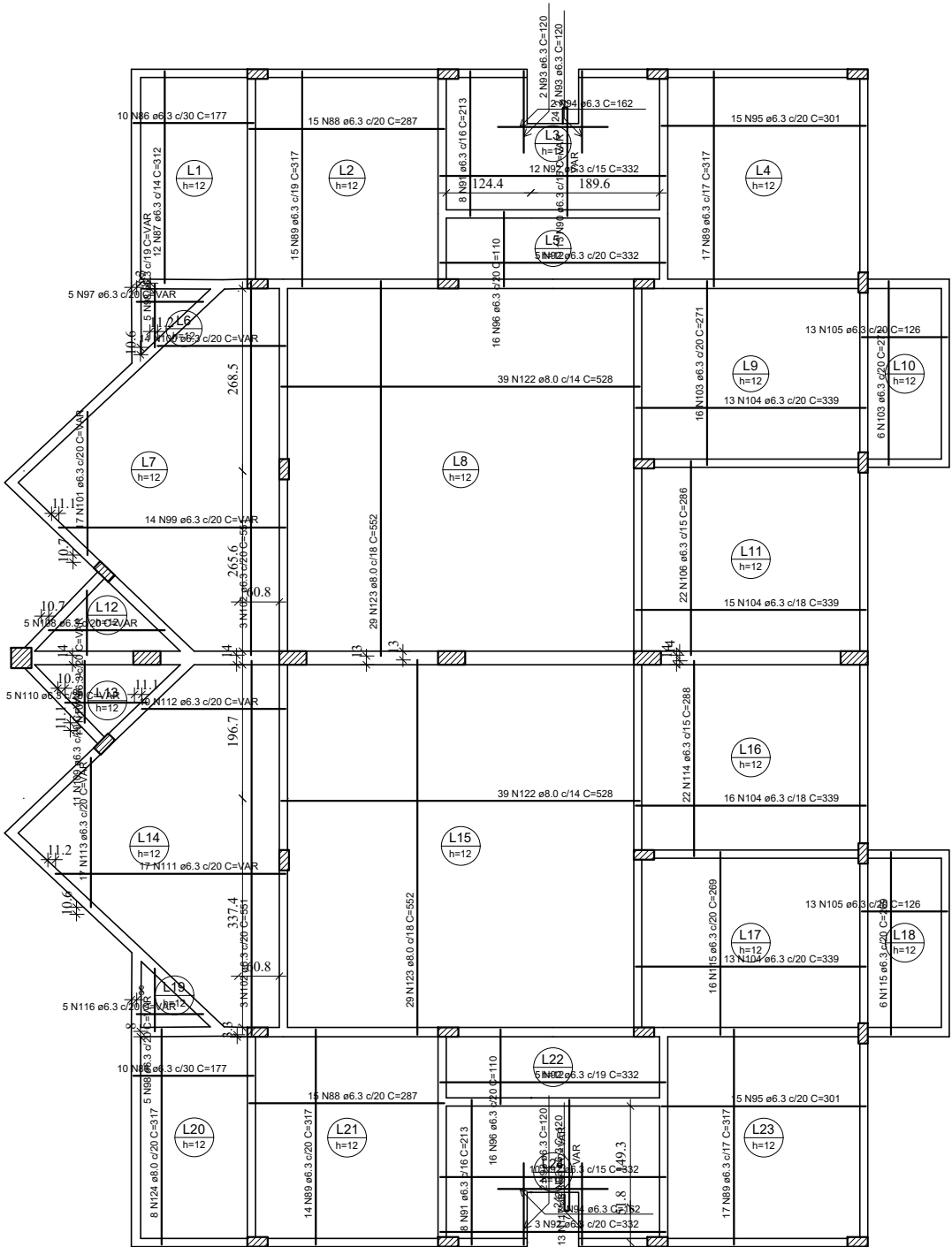
AÇO	DIAM (mm)	C. TOTAL (m)	PESO * 10% (kg)
CA50	10.0	371.5	252.2
CA50	12.5	11.4	12.1
CA50	5.0	661.4	112.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50	264.2		
CA50	112.1		

Volume de concreto (C35) = 4.33 m³
Area de forma = 81.84 m²

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
PILARES	10
ESCALA	
PAVIMENTO	
2º PAVIMENTO	

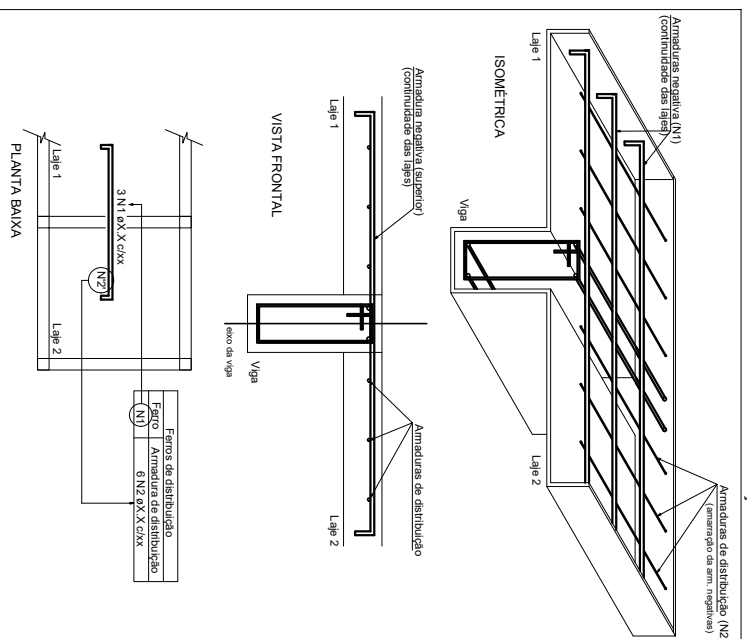


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
CONTEÚDO	ARMADURA NEGATIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	11
	2º PAVIMENTO

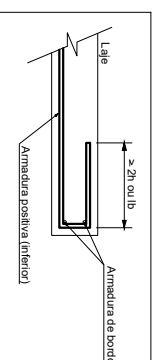


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
CONTEÚDO	ARMADURA POSITIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	12
2º PAVIMENTO	

DETALHE DA ARMADURA DE SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



DETALHE DA ARMADURA
DE BORDO LIVRE DA LAJE



RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	8.3	1487.6	402.4
CA50	8.3	182.4	39.4
CA60	10.0	271.8	194.4
CA60	5.0	1681.6	281.7
PESO TOTAL (kg)			961.7
CA50			281.7

Volume de concreto (C-30) = 21,85 m³
Área de forma = 182,83 m²

PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	3
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO LAJE	FOLHA
ESCALA	13
PAVIMENTO	2º PAVIMENTO

PROJETO ESTRUTURAL

CADERNO Nº 4

PROPRIETÁRIO:

OBRA:

RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR

PAVIMENTO:

OBSERVAÇÕES:

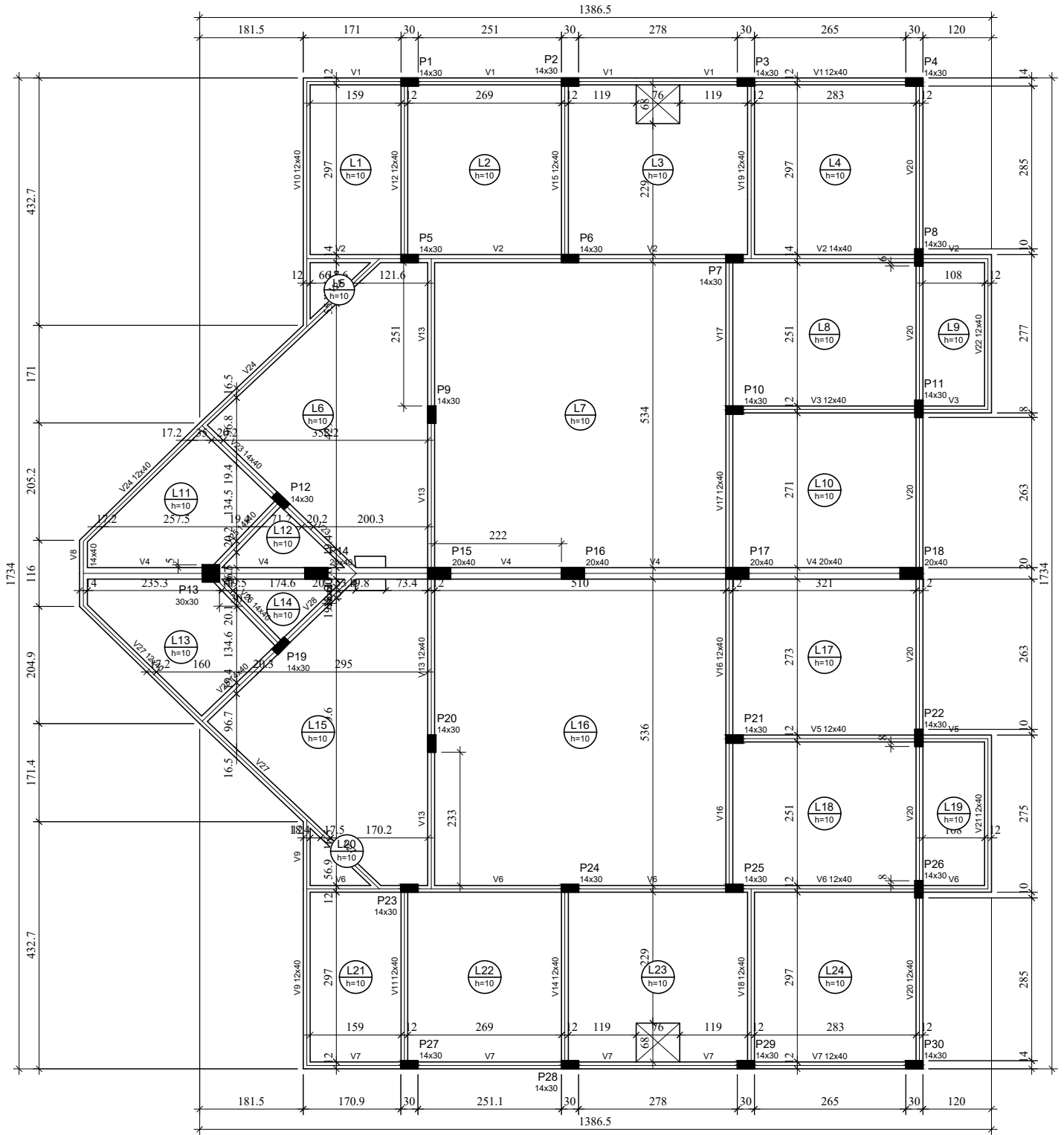
EXECUTAR EXATAMENTE CONFORME O PROJETO:


COBERTURA


CONTEÚDO:

VIGAS E LAJE.

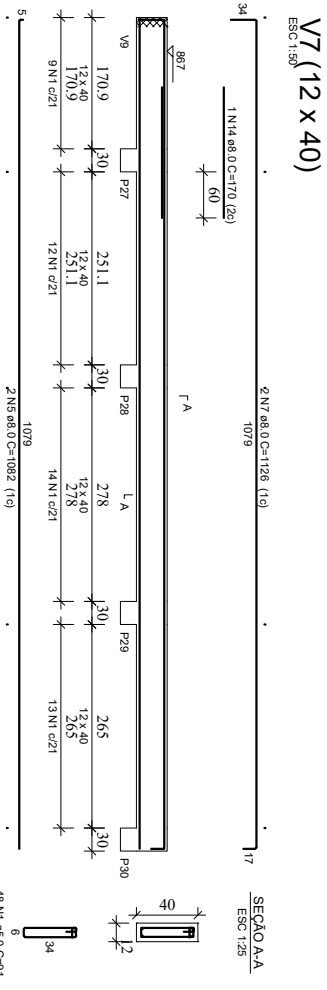
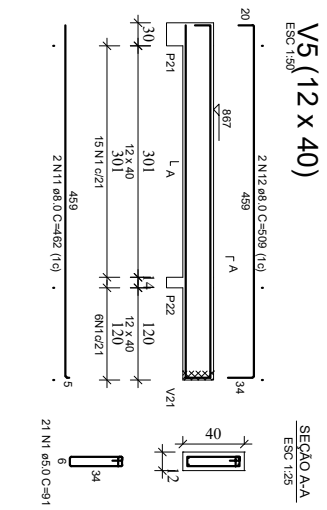
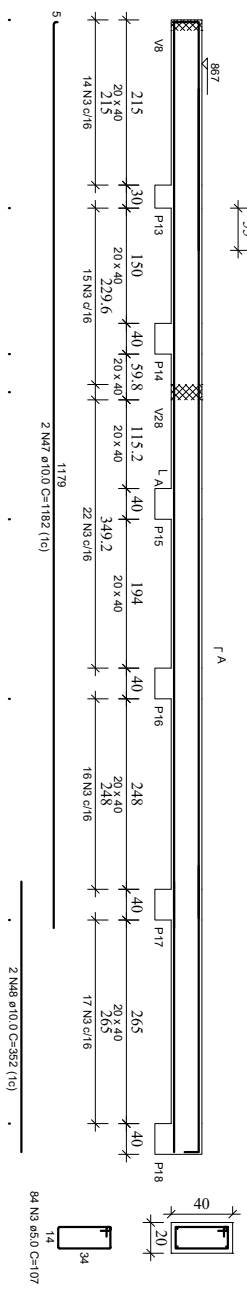
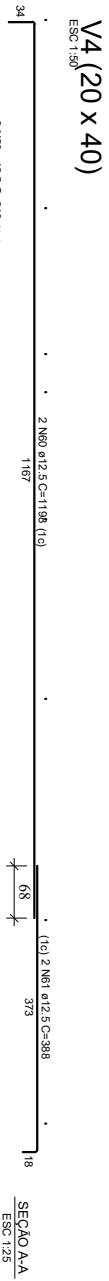
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO



Legenda dos pilares	
	Pilar que morre

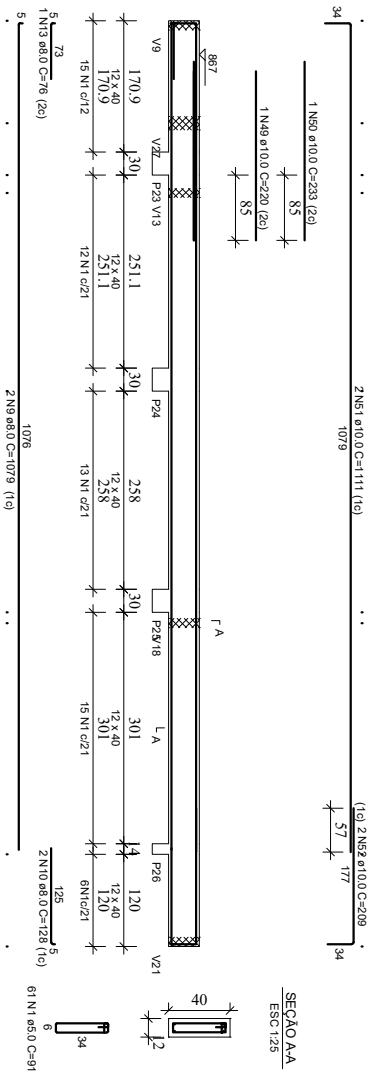
Legenda das vigas e paredes	
	Viga

PLANTA DE FORMA: COBERTURA
Sem escala

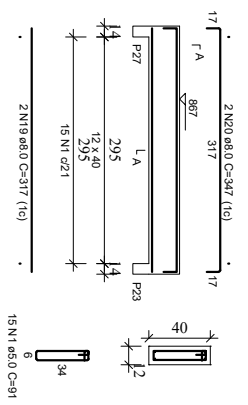


PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	4
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	3
ESCALA	
PAVIMENTO	
COBERTURA	

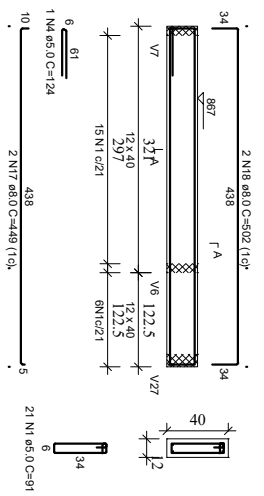
V6 (12 x 40)



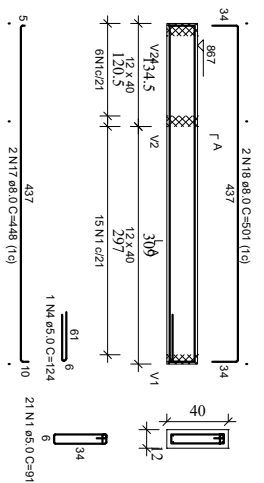
V11 (12 x 40)



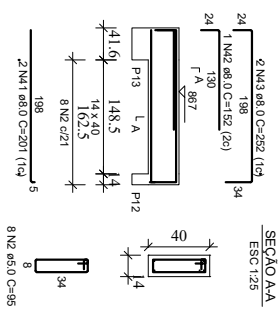
V9 (12 x 40)



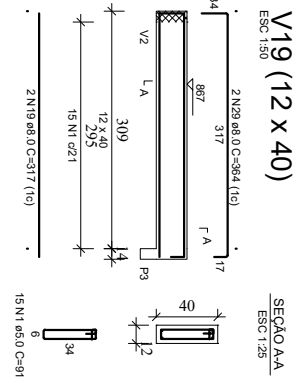
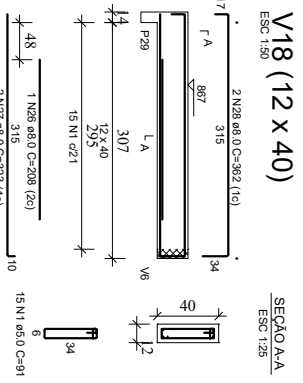
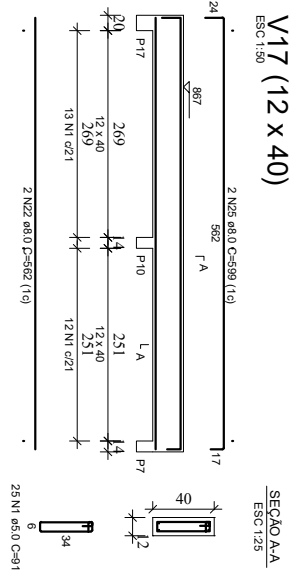
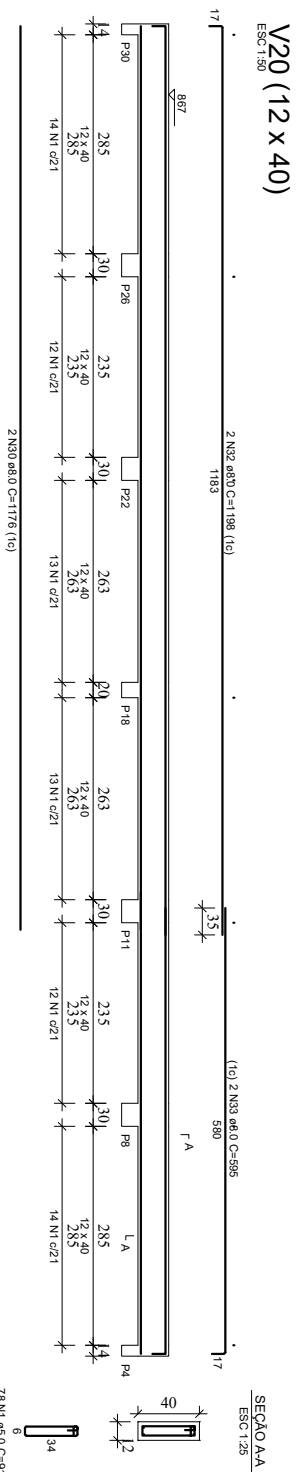
V10 (12 x 40)



V25 (14 x 40)



PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	4
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	4
ESCALA	
PAVIMENTO	
COBERTURA	



PROPRIETÁRIO	CADERNIO
OBRA	4
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	
CONTEÚDO	FOLHA
VIGAS	6
ESCALA	
PAVIMENTO	
COBERTURA	

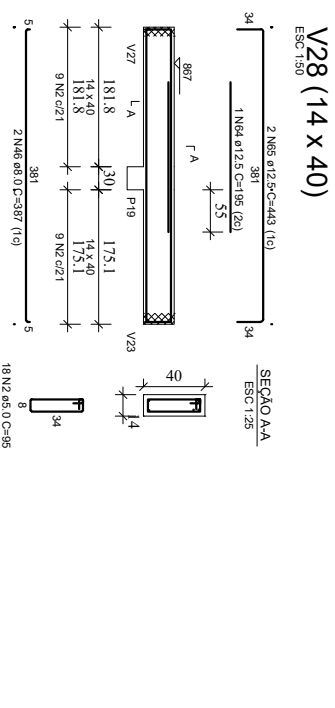
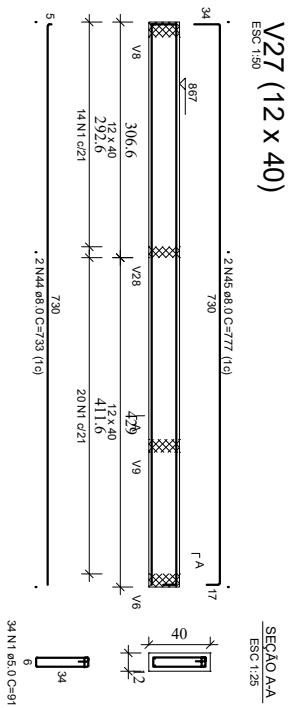
RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO * 10% (Kg)
CA50	10,0	560,2	232,4
CA60	12,5	85,9	66,91
CA60	5,0	754,1	127,9
PESO TOTAL (Kg)			
CA50	397,9		
CA60	127,9		

Volume de concreto (C-35) = 8,05 m³
 Área de forma = 119,53 m²

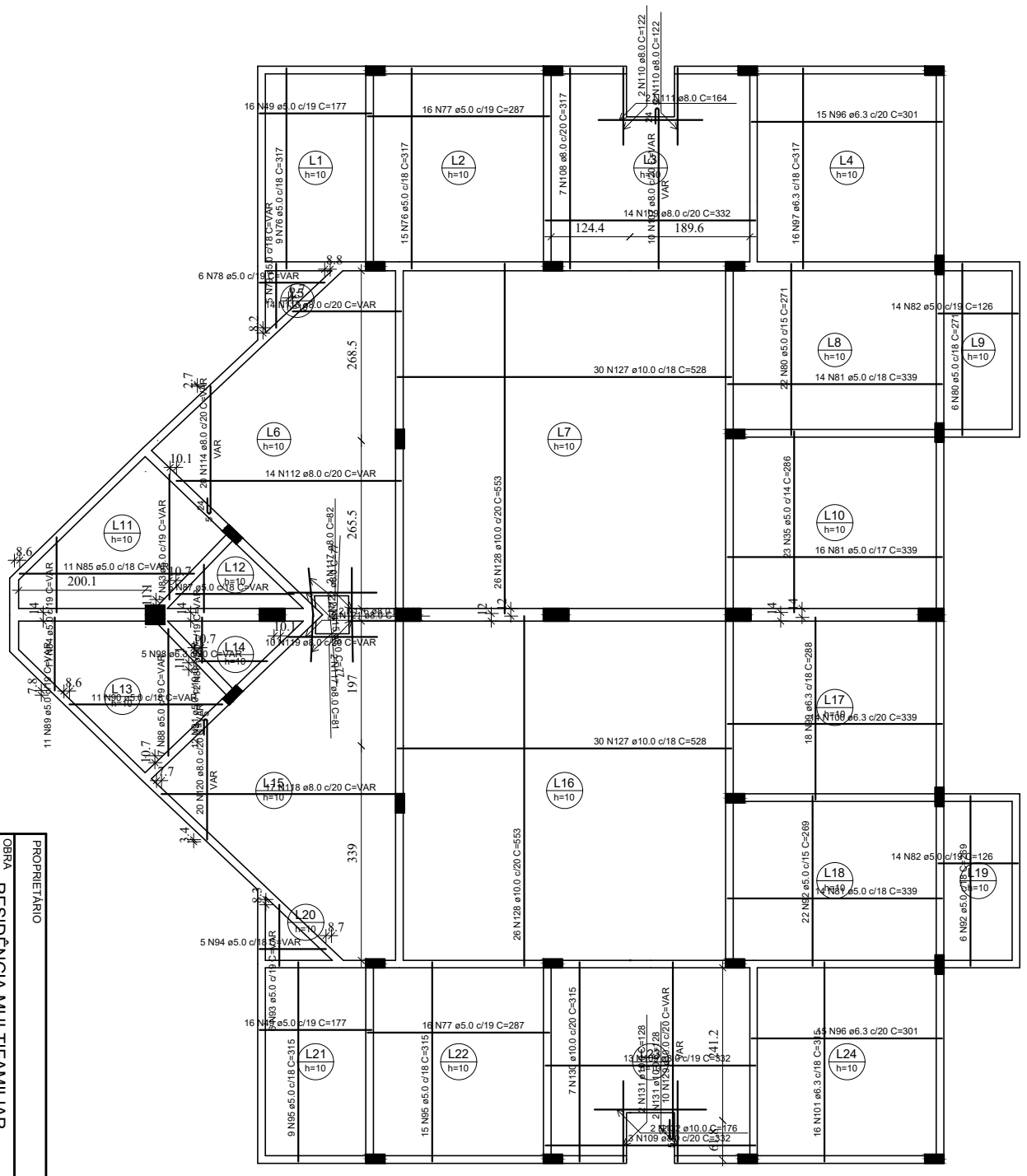
RELAÇÃO DO AÇO

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (C/UNT)	C.QUANT (m)	C.TOTAL (Kg)
CA60	1	5,0	697	61	1468,1
CA60	2	5,0	194	51	1468,1
CA60	3	5,0	5	107	888,8
CA60	4	5,0	5	124	620
CA60	5	8,0	4	1092	4328
CA60	6	8,0	4	1126	4504
CA60	7	8,0	4	1126	4504
CA60	8	8,0	4	1078	4316
CA60	9	8,0	4	1111	4316
CA60	10	8,0	4	462	1848
CA60	11	8,0	4	509	2036
CA60	12	8,0	4	76	76
CA60	13	8,0	1	124	248
CA60	14	8,0	2	124	248
CA60	15	8,0	2	160	320
CA60	16	8,0	4	448	1796
CA60	17	8,0	4	448	1796
CA60	18	8,0	10	502	2008
CA60	19	8,0	10	347	2776
CA60	20	8,0	8	347	2776
CA60	21	8,0	2	1118	2236
CA60	22	8,0	4	562	2248
CA60	23	8,0	2	592	1184
CA60	24	8,0	2	592	1184
CA60	25	8,0	2	599	1198
CA60	26	8,0	1	208	208
CA60	27	8,0	1	208	208
CA60	28	8,0	2	362	724
CA60	29	8,0	2	364	728
CA60	30	8,0	2	1176	2352
CA60	31	8,0	2	1008	1200
CA60	32	8,0	2	1190	1190
CA60	33	8,0	2	595	570
CA60	34	8,0	2	285	570
CA60	35	8,0	2	298	598
CA60	36	8,0	2	301	602
CA60	37	8,0	2	387	774
CA60	38	8,0	2	734	1468
CA60	39	8,0	4	271	804
CA60	40	8,0	4	271	804
CA60	41	8,0	1	152	152
CA60	42	8,0	2	252	504
CA60	43	8,0	2	733	1468
CA60	44	8,0	2	774	1548
CA60	45	8,0	2	397	794
CA60	46	8,0	2	252	504
CA60	47	10,0	2	1182	2364
CA60	48	10,0	2	552	704
CA60	49	10,0	2	233	233
CA60	50	10,0	1	1111	2222
CA60	51	10,0	2	208	418
CA60	52	10,0	2	1173	2346
CA60	53	10,0	2	257	514
CA60	54	10,0	1	175	175
CA60	55	12,5	2	110	220
CA60	56	12,5	2	110	220
CA60	57	12,5	2	110	220
CA60	58	12,5	2	110	220
CA60	59	12,5	2	210	420
CA60	60	12,5	2	198	396
CA60	61	12,5	2	288	576
CA60	62	12,5	2	443	886
CA60	63	12,5	1	195	195
CA60	64	12,5	1	195	195
CA60	65	12,5	2	443	886

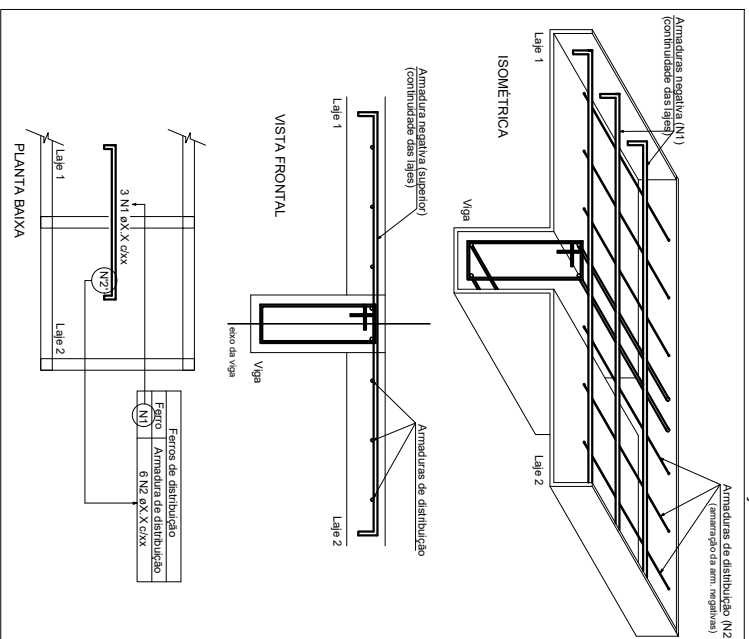


PROPRIETÁRIO	CADERNIO	
OBRA	4	
RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR		
CONTEUDO VIGAS		
ESCALA	PAVIMENTO	COBERTURA
		8
		FOLHA
		8

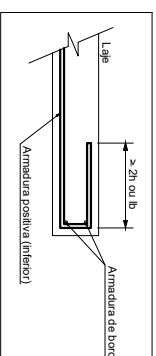
PROPRIETÁRIO	CADERNO
OBRA	4
CONTEÚDO	ARMADURA POSITIVA LAJE
ESCALA	FOLHA
PAVIMENTO	10
COBERTURA	



DETALHE DA ARMADURA DE SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



DETALHE DA ARMADURA
DE BORDO LIVRE DA LAJE



RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	6,3	296	79,7
CA50	7,9	5497	245,4
CA60	10,0	951,7	645,4
CA60	5,0	2511	425,7
PESO TOTAL (kg)			
CA50		977,6	
CA60		425,7	

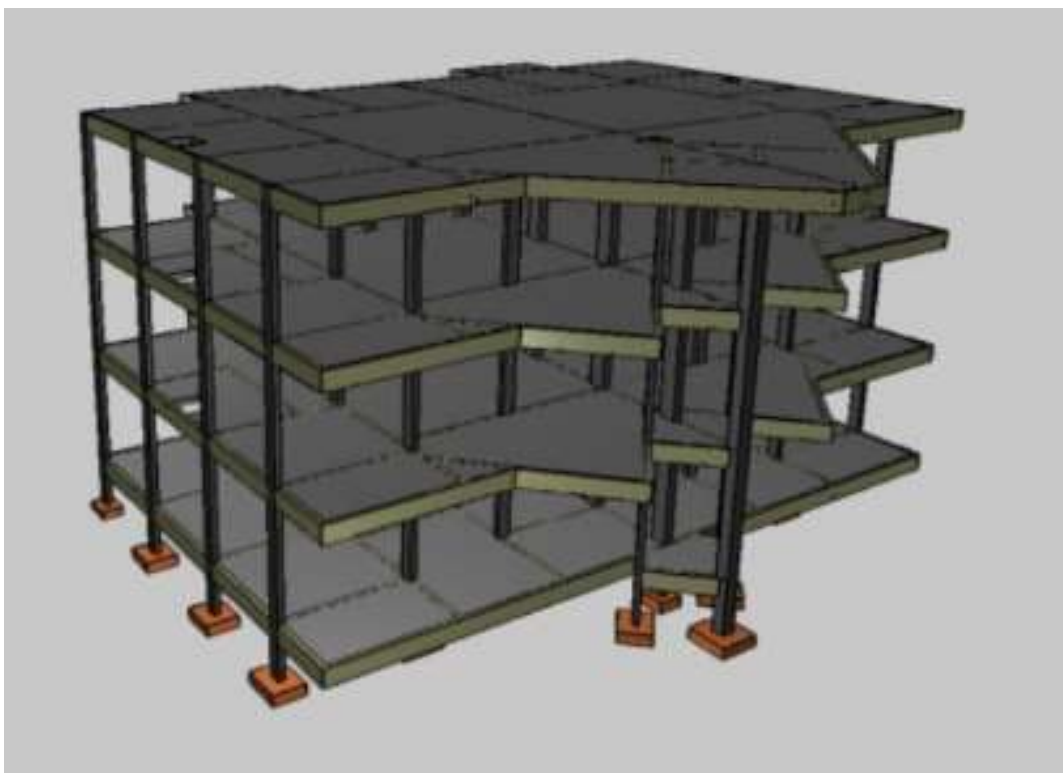
Volume de concreto (C-39) = 19,21 m³
Área de forma = 192,82 m²

PROPRIETÁRIO		CADERNO
OBRA	RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR	4
CONTEÚDO	LAJE	FOLHA
ESCALA	PAVIMENTO COBERTURA	11

ANEXO C – ESTRUTURAL 3D

Estrutural 3D

Sem escala



Estrutural 3D

Sem escala

