

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ASSIL PEDRO CUSTÓDIO NETO**

**PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL:  
UM GUIA PRÁTICO UTILIZANDO O *SOFTWARE* CYPECAD**

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO / 2018**

**ASSIL PEDRO CUSTÓDIO NETO**

**PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL:  
UM GUIA PRÁTICO UTILIZANDO O *SOFTWARE* CYPECAD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Juliete Ribeiro  
Silva

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO / 2018**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela oportunidade de vida que me foi dada, com energia, saúde, e condições para concluir este trabalho e todo o percurso do curso de Engenharia Civil; Agradeço às mulheres da minha vida, minha mãe Selma Eliza pelo exemplo de carisma e alegria, minha tia Maria do Amparo por toda dedicação que ela me proporcionou desde a infância até os dias de hoje, e a minha avó Maria Fernandes por ser exemplo de pessoa de garra e fibra;

Um agradecimento especial ao meu avô Assil Custódio, já falecido, por ser um exemplo de pai que carrego até hoje;

Ao meu amigo Murilo Campanaro, pela companhia, orientação, incentivo e conselhos sensatos;

Ao meu amigo Felipe Nunes, pelo companheirismo e visão que sempre compartilhamos;

Aos meus amigos de classe, em especial ao grupo dos Alphas que permaneceu unido desde a sua formação;

Aos meus professores de curso que se empenharam com veemência para que eu absorvesse sabedoria de qualidade para minha vida e profissão. Em especial meus Orientadores Juliete Ribeiro e Hélio Martin pelo apoio para concluir este trabalho;

À todas as pessoas que participaram da minha da minha vida, diretamente e indiretamente, durante a jornada do curso de Engenharia Civil, amigos, colegas, parentes e as pessoas que no momento não se encontram mais perto de mim;

Um agradecimento a todos os momentos difíceis que passei até hoje, que agora encaro como aprendizado, pois me tornaram a pessoa forte que sou hoje.

“Pain makes me grow. Growing is what I want.  
Therefore, for me pain is pleasure”  
(Arnold Schwarzenegger).

## RESUMO

Com as ferramentas computacionais direcionadas ao cálculo e dimensionamento de estruturas se tornando cada vez mais sofisticadas, oferecendo dinâmica e agilidade em concepções de estruturas, se faz coerente a comparação estrutural entre *softwares* destinados a engenharia para garantir melhor segurança e economia. Foi utilizado o projeto de uma residência a ser construído na cidade de Uberlândia-MG. Este trabalho tem como propósito desenvolver um guia prático de introdução ao *software* de estruturas CYPECAD®, executando o passo a passo da concepção estrutural de pilares, vigas e lajes, utilizando uma estrutura já calculada no *software* RADISTRUT® e comparando ambos os resultados como objetivo secundário. A elaboração da estrutura estudada, teve como plano a maior aproximação possível com a comparada, a fim de obter resultados mais aproximados e tangíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto estrutural; Análise estrutural; Análise computacional; Cypecad.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Identificação dos elementos estruturais. ....	16
Figura 2 - Coeficiente de arrasto ( $C_a$ ), para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência. ....	22
Figura 3 - Isopletas da velocidade básica $V_0$ (m/s). ....	23
Figura 4 - Método aproximado + vigas contínuas. ....	24
Figura 5 - Vigas + Pilares. ....	25
Figura 6 - Grelhas somente de vigas. ....	25
Figura 7 - Grelhas de vigas e lajes. ....	26
Figura 8 - Pórtico plano. ....	26
Figura 9 - Pórtico espacial. ....	27
Figura 10 - Ícone do <i>software</i> CYPE. ....	29
Figura 11 - Interface inicial do CYPE. ....	29
Figura 12 - Interface inicial do CYPECAD. ....	30
Figura 13 - Nova obra. ....	30
Figura 14 - Janela de opções para novas obras. ....	31
Figura 15 - Dados do edifício. ....	32
Figura 16 - Pisos/Grupos. ....	32
Figura 17 - Descrição dos Grupos. ....	33
Figura 18 - Máscaras DXF-DWG. ....	34
Figura 19 - Layers para pilares e seleção de ponto fixo. ....	35
Figura 20 - Dados gerais. ....	36
Figura 21 - Janela ação do vento. ....	37
Figura 22 - Área de trabalho do <i>software</i> . ....	38
Figura 23 - Ferramenta de edição de pilares. ....	38
Figura 24 - Ferramenta de entrada de vigas. ....	39
Figura 25 - Janela de opções de vigas. ....	39
Figura 26 - Estrutura após lançamento de pilares e vigas. ....	40
Figura 27 - Borda livre. ....	40
Figura 28 - Ferramenta de introdução de laje. ....	41
Figura 29 - Janela de introdução de lajes maciças. ....	41
Figura 30 - Disposição da estrutura após lançamento e aberturas de lajes. ....	42

Figura 31 - Janelas de criação de escadas. ....	43
Figura 32 - Disposição da escada em relação à estrutura.....	44
Figura 33 - Respectivas cargas calculadas sobre as vigas.....	45
Figura 34 - Barra de cálculo. ....	46
Figura 35 - Relatório de erros.....	46
Figura 36 - Edição de pilares pós cálculo. ....	47
Figura 37 - Janela de edição de pilares pós cálculo.....	47
Figura 38 - Ferramenta de edição de vigas pós cálculo. ....	48
Figura 39 - Janela de ferramenta de edição de vigas pós cálculo.....	48
Figura 40 - Ferramenta "Desenhos" para impressão e exportação para DWG. ....	49
Figura 41 - Adicionar novo elemento à lista de pranchas. ....	49
Figura 42 - Ferramenta "Desenhos" para impressão e exportação DWG.....	49
Figura 43 - Detalhamento de desenho. ....	50
Figura 44 - Mapa de locação de pilares. ....	52
Figura 45 – Detalhamento do pilar P6 pelo CYPECAD.....	53
Figura 46 - Detalhamento do pilar P6 pelo RADISTRUT.....	54
Figura 47 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P6. ....	55
Figura 48 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P12.....	56
Figura 49 - Detalhamento do pilar P12 pelo RADISTRUT.....	57
Figura 50 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P16.....	58
Figura 51 - Detalhamento do pilar P16 pelo RADISTRUT.....	59
Figura 52 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar B1. ....	60
Figura 53 - Mapa de vigas evidenciando as vigas V2, VP6 e VC7.....	61
Figura 54 - Detalhamento da viga V2 pelo CYPECAD. ....	62
Figura 55 - Detalhamento da viga V2 pelo RADISTRUT.....	62
Figura 56 - Detalhamento da viga VP4 pelo RADISTRUT, sequência da viga apresentada na Figura 54. ....	63
Figura 57 - Detalhamento da viga VP6 pelo RADISTRUT.....	63
Figura 58 - Detalhamento da viga VP6 pelo CYPECAD. ....	64
Figura 59 - Detalhamento da viga VC7 pelo RADISTRUT. ....	64
Figura 60 - Detalhamento da viga VC7 pelo CYPECAD.....	65
Figura 61 - Detalhamento da laje do reservatório pelo RADISTRUT. ....	65
Figura 62 - Detalhamento da laje do reservatório pelo CYPECAD.....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA). .....	17
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	17
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm. ....	18
Tabela 4 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura. ..	19
Tabela 5 - Quantitativo de aço pelo CYPECAD (à esquerda) e RADISTRUT (à direita). .....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### ABREVIATURAS

mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
s	Segundo
P	Pilar
V	Viga
KN	Kilonewton
m/s	Metros por segundo
N/m <sup>2</sup>	Newtons por metro quadrado
N	Newtons
Kg	Quilogramas

### SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
3D	Terceira Dimensão
FUCAMP	Fundação Carmelitana Mário Palmério
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Serviço
SCU	Sobrecarga de Utilização
CP	Carga Permanente

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\leq$	Menor ou igual
$\geq$	Maior ou igual
$c_{nom}$	Cobrimento nominal
$\Phi_{barra}$	Diâmetro da barra
$V_k$	Velocidade de cálculo do vento
$V_0$	Velocidade básica do vento
$S_1$	Fator topográfico
$S_2$	Classe de edificação
$S_3$	Fator estatístico
$q$	Pressão de obstrução do vento
$C_a$	Coefficiente de arrasto
$F_a$	Força de arrasto
$\Delta c$	Tolerância de execução para o cobrimento
$A$	Área de incidência do vento no edifício na direção em análise
$S$	Subsolo
$\emptyset$	Diâmetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos</b> .....	13
<i>1.1.1 Objetivo geral</i> .....	13
<i>1.1.2 Objetivos específicos</i> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
<b>2.1 Compatibilizações de projetos arquitetônicos e estruturais</b> .....	14
<b>2.2 Elementos estruturais</b> .....	15
<b>2.3 Classe de agressividade ambiental (CAA)</b> .....	16
<b>2.4 Carregamentos</b> .....	19
<b>2.5 Combinações de ações</b> .....	23
<b>2.6 Modelos Estruturais</b> .....	24
<b>3 INICIANDO O PROJETO</b> .....	28
<b>3.1 Análise do projeto arquitetônico</b> .....	28
<b>3.2 Começando um novo projeto no CYPECAD a partir do arquitetônico</b> .....	28
<b>3.3 Introdução de dados da edificação</b> .....	31
<b>3.4 Incluindo elementos estruturais</b> .....	37
<b>3.5 Escada</b> .....	42
<b>3.6 Elementos construtivos e cargas</b> .....	44
<b>3.7 Calculando a obra e correção de elementos</b> .....	45
<b>3.8 Impressão de pranchas de detalhamento</b> .....	48
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	51
<b>4.1 Pilares P6, P12, P16 E B1</b> .....	52
<b>4.2 Vigas V2, VP6 E VC7</b> .....	60
<b>4.3 Laje reservatório</b> .....	65
<b>4.4 Quantitativo de aço</b> .....	66
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos de engenharia, de modo geral, apesar dos avanços tecnológicos e da evolução dos métodos, ainda contam com diversas deficiências em vários aspectos, desde a fase de concepção de projetos até a execução de obras, por exemplo. A fase de projeto tem por objetivo, em última análise, fornecer uma solução técnica e economicamente viável para a obra, sem interferir na arquitetura e para a finalidade a que se destina. Projetar, conceber e executar estruturas é, portanto, uma das principais funções do engenheiro civil.

O engenheiro estrutural recebe de antemão o projeto arquitetônico como base para realizar o dimensionamento das estruturas, que em geral ficam ocultas pelo cobrimento e acabamento. Não é incomum o projeto arquitetônico sofrer alterações de acordo com o estrutural, por isso, engenheiro e arquiteto devem trabalhar em sintonia para chegar a um resultado satisfatório, tanto estético quanto seguro.

A fase de projetos é, em suma, a principal atividade em uma construção, em que deve-se garantir a segurança e economia, evitando assim o superdimensionamento de elementos estruturais como pilares, vigas ou lajes. Logo, possuir noção do comportamento estático e dinâmico de uma estrutura é fundamental para elaboração de estruturas mais leves e esbeltas sem interferir no padrão de segurança e qualidade.

Partindo desse princípio, através de cálculos específicos e criteriosos, o responsável definirá a dimensão e o tipo de estrutura que se encaixa ao projeto levando em consideração todas as condições de contorno referente à sua utilização. Poderá também realizar previsões do seu comportamento estrutural com um todo, diante dos conhecimentos prévios sobre materiais, ou condições específicas de carregamentos através de procedimentos teóricos ou computacionais.

Nesse sentido, a análise estrutural é, atualmente, uma tarefa muito mais simples se comparada há alguns anos, em razão da inserção de *softwares* na engenharia. Com a utilização de pacotes computacionais específicos, o projetista usa seu tempo com maior eficiência, o que antes era consumido com os métodos e cálculos manuais.

Assim, segundo Moraes (2015), com a constante evolução e disponibilidade a sistemas computacionais de processamento poderosíssimos, o Método dos Elementos Finitos tem se destacado como um interessante instrumento na modelagem de sistemas estruturais, tendo em vista a prevenção de falhas e, conseqüentemente, a antecipação do comportamento estrutural dos elementos.

Moraes (2015) ainda relata sobre a importância do estudo conceitual da teoria do Método dos Elementos Finitos, que se apresenta cada vez mais relevante aos que se propõem a se engajar na análise de estruturas, visto que estas premissas estão presentes em quase todas as ferramentas computacionais relacionadas à engenharia disponíveis e que, sem dúvida, podem e devem ser utilizados como ferramentas indispensáveis no cotidiano do engenheiro estrutural.

A ferramenta computacional deve ser utilizada como auxílio ao profissional, possibilitando a ele fazer simulações a fim de escolher a que melhor lhe atenda em termos de comportamento estrutural e em termos de segurança e economia. Independentemente do *software* utilizado para o cálculo estrutural, o engenheiro deve estar ciente de todo o conhecimento teórico e prático da estrutura projetada, pois a ferramenta computacional é um auxílio, logo, a responsabilidade e conhecimento aplicado são fundamentais.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo geral***

Diante do que foi exposto, o objetivo central do presente estudo é realizar uma análise estrutural de concreto armado de uma construção de dois pavimentos, efetuando o dimensionamento de vigas, lajes e pilares, e utilizando a ferramenta computacional CYPECAD®.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Executar o passo a passo de um projeto estrutural de uma edificação, primando à compatibilização dos projetos arquitetônicos e estruturais no *software* CYPECAD®;
- Realizar o comparativo estrutural calculado com o auxílio do *software* RADISTRUT® e o realizado neste trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Compatibilizações de projetos arquitetônicos e estruturais**

De acordo com Junior, Maia e Correio (2014), para muitos brasileiros a fase de projetos ainda é uma perspectiva de custo elevado, em atribuição aos seus valores monetários relocados para sua concepção e resistência em seguir os meios legais. Tudo isso se deve à cultura que há no país de que esse tempo gasto em planejamento, que é equiparado com o tempo de obra, poderia ser gasto na construção. Equivoca-se quem assim pensa, pois esse tempo de projetos é longo devido à elaboração e planificação que evitam diversos problemas no decorrer da obra.

Segundo Junior, Maia e Correio (2014), na maioria das situações, os projetos são feitos isoladamente, e é nessa não interação de projetos onde ocorrem as chances de conflitos entre os diversos projetos (arquitetônico, estrutural, instalações, paisagismo, climatização, impermeabilização e inúmeros outros). Costumeiramente, o problema é identificado apenas durante a obra, demandando alterações de imediato ou até mesmo a quebra de elementos já incorporados como alvenarias, estruturas e instalações para adaptação de outro sistema. A compatibilização de projetos representa um ponto crucial no empreendimento a ser desenvolvido, pois deixa claro possíveis incoerências no mapeamento da pré-execução do projeto, patologias e interferências decorrentes, auxiliando na identificação de problemas e assim diminuindo o desperdício e reformas consequentes. Logo, aumenta-se o ganho de tempo e economia de capital. Além de todas essas premissas, essa compatibilização permite que a criação de um orçamento de obras mais adequado à realidade da obra.

Quando o engenheiro recebe o projeto arquitetônico, é comum que o arquiteto já tenha definido qual tipo de estrutura será adotada no edifício, desde concreto armado, metálica ou até mesmo madeira, entre muitas outras. Isso também não impede que ambos entrem em um consenso, alterando o tipo de estrutura, para alcançarem um produto final seguro, econômico e de boa qualidade.

Uma forma de compatibilização arquitetônica e estrutural é revestir pilares com acabamento, garantindo segurança para a estrutura, comumente denominado cobertura nominal. É normal que arquitetos e engenheiros queiram ocultar os elementos estruturais para manter a estética e garantir a ideia do ambiente, mas é necessário que fique de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, que define dimensões mínimas dos elementos estruturais.

Os avanços tecnológicos mudam a maneira dos engenheiros e arquitetos interagirem e representarem seus projetos para seus clientes. Com essa tecnologia é possível representar modelos tridimensionais que simulam a construção a ser efetuada, dessa forma os profissionais usufruem de uma facilidade para propor soluções e testar projetos, salvo que projetos são desenvolvidos em planos de papéis, mas representam plataformas e ambientes em 3D. Portanto, algumas ocorrências só poderão ser compreendidas no modelo tridimensional.

## 2.2 Elementos estruturais

Uma edificação é composta por várias generalidades, dentre elas, destacam-se os elementos estruturais, classificados principalmente como subestrutura e superestrutura.

**Subestrutura:** são as fundações que sustentam toda a carga da superestrutura da edificação transferindo-as para o solo, podendo ou não estar inteiramente enterradas no mesmo. A ABNT NBR 6122:2010 define fundações em dois tipos: profundas e superficiais. As profundas são utilizadas geralmente em grandes projetos que precisam transportar cargas maiores ao terreno, transferindo as cargas pela base e por sua superfície lateral. Os tipos mais utilizados são estacas, tubulões e caixões. Já as superficiais, ainda pela norma, são fundações em que a carga é predominantemente transmitida através das pressões distribuídas sob a base da fundação.

**Superestrutura:** são as estruturas que transferem suas cargas para a subestrutura, desde pilares, vigas, lajes e todas as cargas envolvidas nesses elementos. A definição e transferência de cargas desses elementos ocorrem da seguinte maneira:

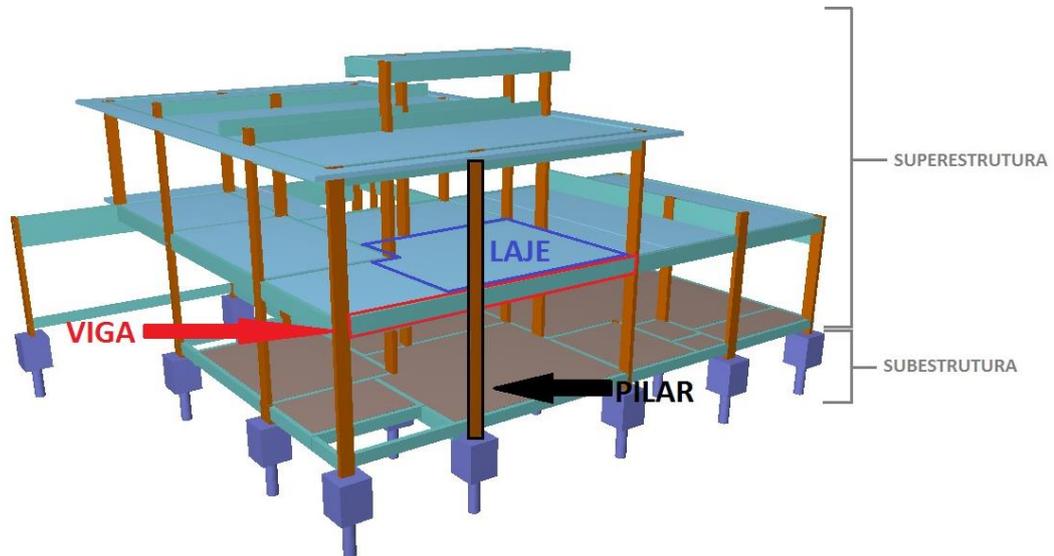
**Lajes:** são placas contínuas apoiadas em seu perímetro por vigas na sua maioria, e algumas vezes nas próprias colunas chamadas de lajes planas. Essas lajes formam os pavimentos e as coberturas das edificações. Além de seu peso próprio recebem também cargas das ações de uso, e algumas vezes de paredes também. Essas lajes travam os pilares e distribuem as cargas horizontais entre os elementos de contraventamento.

**Vigas:** são estruturas lineares podendo ser de concreto armado, aço ou madeira. Podem estar apoiada sobre pilares ou sobre outras vigas. São responsáveis pela transferência do peso das lajes e dos demais elementos que compõem a construção.

**Pilares:** são barras posicionadas verticalmente (em sua maioria) e recebem a carga de lajes, vigas e pavimentos superiores. São dimensionados para resistir à compressão e à flambagem e transmitem a carga recebida para estruturas inferiores ou para as fundações.

A Figura 1 demonstra os elementos estruturais e a divisão de superestrutura e subestrutura.

Figura 1 - Identificação dos elementos estruturais.



Fonte: O autor (2018).

### 2.3 Classe de agressividade ambiental (CAA)

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, há várias considerações e diretrizes para garantir a durabilidade das estruturas de concreto armado. Essas considerações dizem respeito a critérios de projeto a serem seguidos em função da classe de agressividade do ambiente à estrutura, tendo em vista proteger os elementos estruturais e garantir o desempenho durante a vida útil do projeto, preservando-a de todas as intempéries ambientais.

Segundo a Tabela 1, a classe de agressividade deve ser classificada de acordo com a Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014, na qual estão relacionadas as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das forças que atuam sobre as mesmas.

Tabela 1 - Classes 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 <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe 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).

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

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

As definições dessas classes são importantíssimas na elaboração do projeto estrutural. Seguindo esse princípio, o primeiro passo para o projeto estrutural é a determinação da CAA, logo, será a partir dela que serão adotados os cobrimentos nominais mínimos necessários para a proteção das armaduras de lajes, vigas e pilares, a classe de resistência mínima do concreto utilizado na obra e a relação água/cimento como disponibilizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 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

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Na Tabela 3 é possível definir o cobrimento nominal de acordo com a CAA.

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

De acordo com o item 7.4.7.3 da ABNT NBR 6118:2014, para assegurar o cobrimento mínimo, o projeto deve considerar o cobrimento nominal, sendo esse, o cobrimento mínimo conjunto da tolerância de execução. Desta forma, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos estabelecidos na Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2014, para  $\Delta c = 10$  mm. Segundo os itens 7.4.7.3 e 7.4.7.4, nas obras correntes o valor de  $\Delta c$  deve ser maior ou igual a 10 mm. Contudo, é permitido reduzir a tolerância de execução para  $\Delta c = 5$  mm quando existir um rigoroso controle de qualidade, rígidos limites de tolerância durante a execução e estiver evidente, nos desenhos do projeto, esta exigência de controle rigoroso. Outra ponderação importante é a avaliação *b* da Tabela 7.2 da norma, que possibilita a adoção de valores de cobrimentos menores que os prescritos, com o mínimo de 15 mm, para faces superiores de lajes e vigas quando estas estiverem revestidas com contrapiso e revestimentos secos. Sobretudo, o cobrimento escolhido ainda deverá respeitar os limites do item 7.4.7.5 da norma que especifica que o cobrimento não pode ser menor que o diâmetro da barra, ou seja,  $c_{nom} \geq \Phi_{barra}$ .

Conforme a norma ABNT NBR 6118:2014, o item 13.4 prescreve questões diretamente ligadas à durabilidade, tratando do controle da fissuração dos elementos e proteção das armaduras como explicitado na Tabela 4.

Tabela 4 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

<sup>a</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com  $a_p = 50$  mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

A norma orienta que o controle de fissuração possibilite ser realizado por meio da limitação da abertura estimada de fissura ou, resumidamente, pelo cálculo da tensão de serviço e verificando diâmetros e espaçamentos máximos.

## 2.4 Carregamentos

A ABNT NBR 6118:2014 deixa claro que Estado Limite é a situação da estrutura que define impropriedade para o seu uso, seja por estética e funcionalidade, por razões de segurança, que não atendam os padrões estipulados pelas normas ou desgaste estrutural de um ou mais componentes. É o estado que a estrutura deixa de atender os requisitos de funcionamento de forma segura e adequada.

O Estado Limite Último (ELU), ainda pela ABNT NBR 6118:2014, já não pode ser utilizado por razões de esgotamento ou fadiga da capacidade resistente, oferecendo assim

risco à segurança. Logo, são necessários reparos ou até mesmo a substituição da estrutura para que seja assegurada.

Já o Estado Limite de Serviço (ELS), de acordo com a NBR 6118:2014, diferente do ELU, está relacionado ao conforto para os usuários, durabilidade da estrutura, aparência e boa utilização de um modo geral.

Desta forma é facilmente diferenciado ELU e ELS, pois o primeiro está ligado a um risco iminente na ruína da estrutura, devendo ser interditado e reparado imediatamente, enquanto que o outro (Estado Limite de Serviço) não oferece risco à segurança, está apenas fora dos padrões normais de funcionamento, provocando uma sensação desconfortável com aparecimento de flechas e fissuras.

De acordo com a norma ABNT NBR 6120:1980, ficam explícitas as condições necessárias para a determinação dos valores de carga que devem ser levados em conta no projeto estrutural.

A norma ABNT NBR 8681:2003 classifica as cargas em três categorias: ações permanentes, variáveis e excepcionais, sendo elas de acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014:

**Ações permanentes:** são ações que apresentam pequenas variações durante e toda a vida da construção. Também se considera ações que aumentam no decorrer da vida construtiva e tendem a ter um valor limite constante. Essas ações necessitam de ser consideradas com seus valores mais desfavoráveis possíveis primando a segurança da estrutura. Divididas em ações permanentes diretas e permanentes indiretas, onde as primeiras (diretas) são constituídas pelo peso próprio da estrutura, os elementos construtivos fixos, das instalações e empuxos permanentes, e as segundas (indiretas), são as ações impostas pela retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão.

**Ações variáveis:** ao contrário das ações permanentes, as ações variáveis apresentam variação significativa durante a vida da construção e também são classificadas como direta e indireta, onde as diretas correspondem às cargas mais importantes como ação do vento e da água, enquanto as indiretas são caracterizadas pelas variações de temperatura e ações dinâmicas.

As cargas acidentais devem ser alocadas de forma que fique o mais desfavorável possível para o elemento projetado. Assim o engenheiro projeta para a pior situação possível que possa acontecer ao edifício. Segundo a ANBT NBR 6120:1980 essas cargas podem ser

pessoas, veículos e materiais em geral. Dessa forma, o valor adotado em projeto dependerá do tipo de uso em questão.

Levar em consideração as ações do vento durante uma análise estrutural é de suma importância para assegurar que ela terá um excelente desempenho ao longo de sua vida útil. Assim como o efeito de vento surte mais efeito em construções mais altas, não deve ser desprezada em empreendimentos menores em hipótese alguma para a segurança de todos. Considerando a norma ABNT NBR 6123:1988, os fatores que afetam o cálculo do vento são:

- Situação da construção - deve ser levado em conta o vento da região;
- Tipo de terreno - se há obstáculos para o vento;
- Geometria da edificação - em relação à velocidade e aerodinâmica;
- Tipo de ocupação - segurança oferecida após uma tempestade.

O cálculo das ações do vento pode ser efetuado em três etapas distintas, onde a primeira consiste em determinar a velocidade do vento, que depende da sua velocidade básica e de fatores de ponderação  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  os quais podem ser consultados na norma em questão. A fórmula é representada pela Equação 1:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1)$$

Sendo que:

$V_k$  – Velocidade de cálculo do vento (m/s);

$V_0$  – Velocidade básica do vento (m/s);

$S_1$  – Fator topográfico;

$S_2$  – Classe de edificação;

$S_3$  – Fator estatístico.

Logo após calcula-se a pressão de obstrução do vento conforme a Equação 2 a seguir fornecida pela norma:

$$q = 0,613 (V_k)^2 \quad (2)$$

Sendo que:

$q$  – Pressão de obstrução do vento (N/m<sup>2</sup>);

$V_k$  – Velocidade de cálculo do vento (obtido na Equação 1). (m/s)

Seguindo o cálculo, obtém-se a força de arrasto na Equação 3, oriunda da ABNT NBR 6123:1988:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A \quad (3)$$

Sendo que:

$F_a$  – Força de arrasto (N);

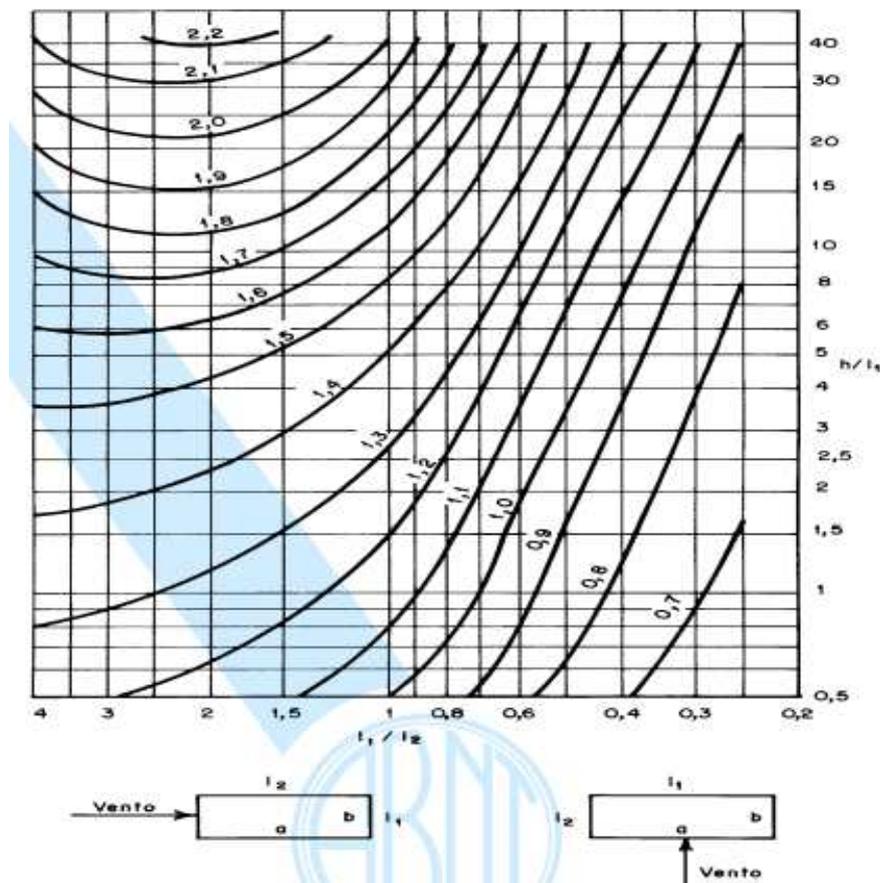
$C_a$  – Coeficiente de arrasto;

$q$  – Pressão de obstrução do vento (obtido na Equação 2) (N/m<sup>2</sup>);

$A$  – Área de incidência do vento no edifício na direção em análise (m<sup>2</sup>).

O Coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) é encontrado na NBR 6123:1988 como mostrada na Figura 2. É importante ressaltar que este diagrama é utilizado para edificações retangulares, ou seja, cada tipo de construção geométrica necessitaria de consultas diferentes.

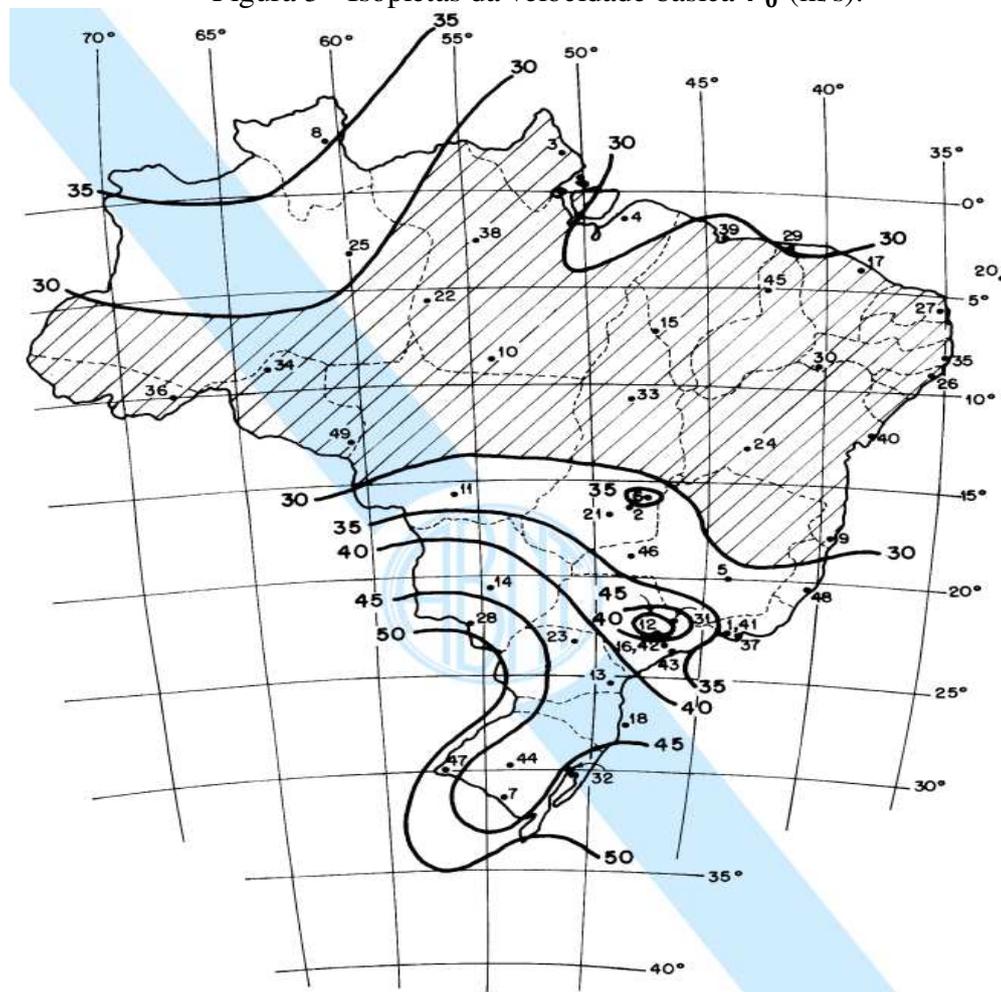
Figura 2 - Coeficiente de arrasto ( $C_a$ ), para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

A seguir a isopleta para definição da velocidade básica do vento na Figura 3.

Figura 3 - Isopletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s).



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

## 2.5 Combinações de ações

Após estabelecidas as cargas aplicadas à construção, é fundamental executar as combinações das mesmas, com a finalidade de assemelhar a real situação em que a estrutura estará sujeita. No decorrer da concepção do projeto estrutural é imprescindível saber combinar as ações de forma correta, de maneira que os efeitos desfavoráveis sejam levados em conta para avaliar a pior situação da estrutura em toda sua vida.

De acordo com Kimura (2007), dificilmente um edifício estará exposto a apenas uma ação, na realidade ele estará suscetível a uma soma de várias ações ao mesmo tempo. Determinadas ações só podem ser combinadas caso já existirem outras. Por exemplo, a temperatura, o vento e sismos, nunca irão exercer em uma edificação sem que seu peso próprio esteja atuando conjuntamente.

Kimura (2007) relata que apesar das ferramentas computacionais estarem produzidas para estudar e gerar os resultados de ações de forma isolada, o que é excelente para compreender o comportamento da estrutura, para o projeto estrutural em si, o que é levado em conta são as combinações de ações.

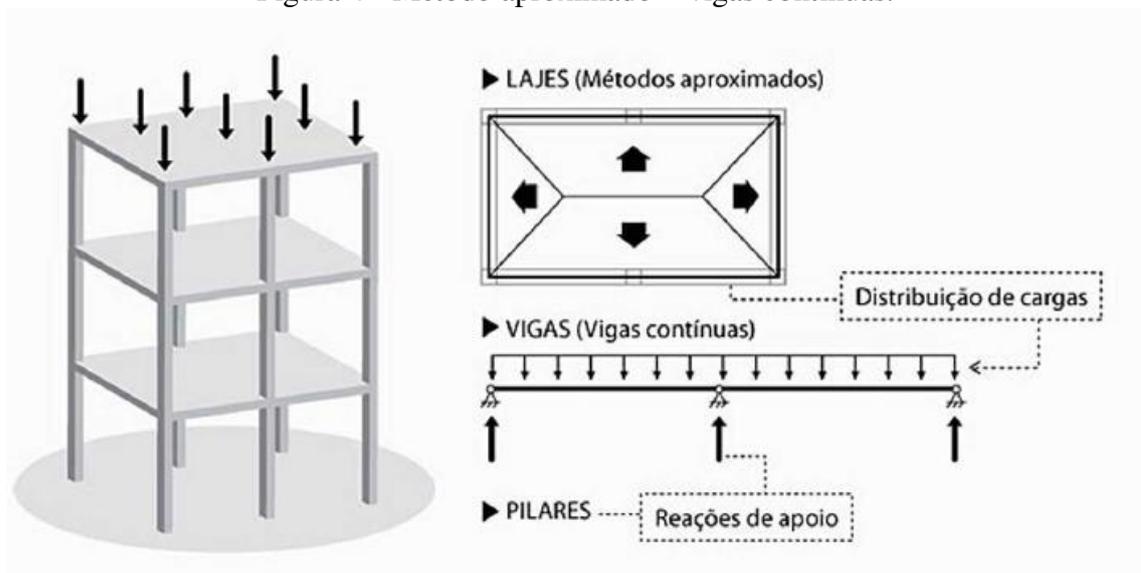
Quanto mais cargas um edifício estiver exposto, mais combinações deverão ser levadas em conta nos cálculos. Desta forma o uso de programas e ferramentas computacionais é indispensável em casos de inúmeras combinações, pois este descarta a chance de falhas que poderiam ocorrer caso o cálculo fosse manual, tornando mais ágil o trabalho realizado.

## 2.6 Modelos Estruturais

De acordo com Kimura (2007), modelos estruturais são representações que simulam estruturas reais. Existem diversos modelos que podem ser empregados na análise de edificações de concreto armado, desde simples a complexos até limitados à abrangentes.

**Método aproximado + vigas contínuas:** este modelo é muito simplificado, geralmente aplicado em obras de pequeno porte como residências térreas e sobrados. As aproximações exercidas nesse método limitam seu uso para o dimensionamento de estruturas mais complexas, pois os elementos são calculados de forma individual, não sendo considerada a interação entre eles. Além disso, não são considerados os efeitos do vento. A Figura 4 demonstra o modelo.

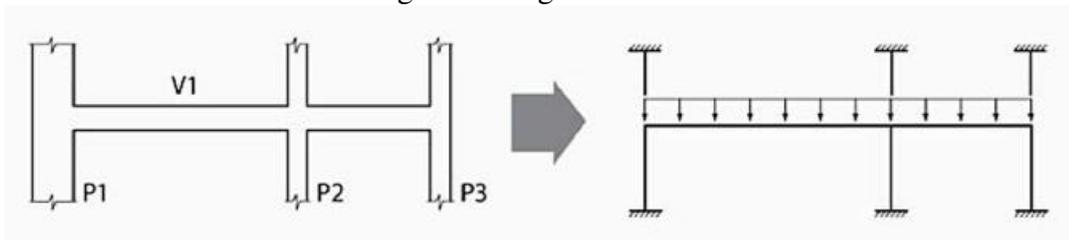
Figura 4 - Método aproximado + vigas contínuas.



Fonte: Kimura (2007).

**Vigas + Pilares:** seguindo o mesmo modelo da viga contínua, este refere-se a uma evolução, pois ao contrário de apoios simples, tanto lances inferiores quanto superiores dos pilares são modelados conjuntamente com a viga, criando um pórtico plano. De fácil interpretação, possui uma vantagem a mais na sua consideração da relação entre viga e pilar. Apesar da simplicidade, este modelo é raramente adotado na elaboração de projetos seguidos de *softwares* para cálculos estruturais. Representação do modelo na Figura 5.

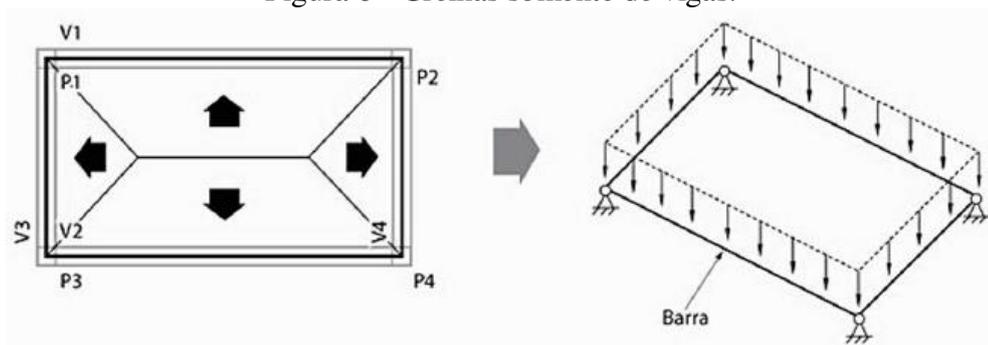
Figura 5 - Vigas + Pilares.



Fonte: Kimura (2007).

**Grelhas somente de vigas:** neste modelo, as extremidades da grelha representam as vigas, no qual é levada em consideração a interação entre as mesmas. São impostas cargas perpendiculares aplicadas na extensão da viga, oriundas da transferência das lajes por área de influência, e os pilares são representados por apoios simples. No modelo representado pela Figura 6, não é considerado lajes e não é possível verificar efeitos de vento.

Figura 6 - Grelhas somente de vigas.

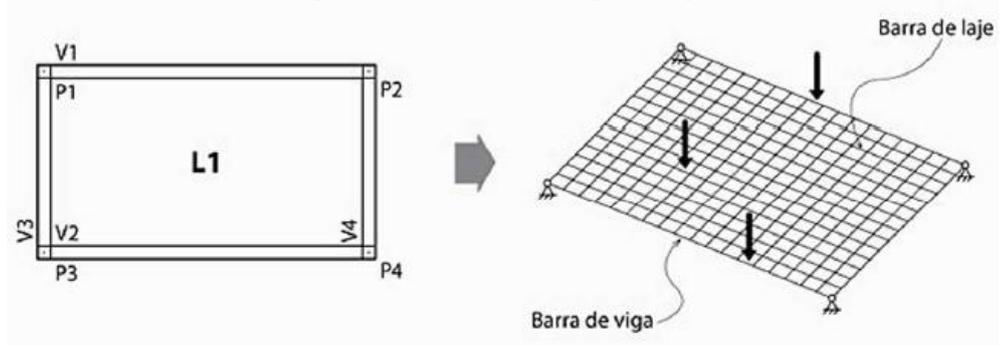


Fonte: Kimura (2007).

**Grelhas de vigas e lajes:** já neste modelo, diferente do anterior, as lajes são levadas em conta para sua análise. Dispostos no plano horizontal por elementos lineares que simulam vigas e lajes, formam uma malha de barras submetidas a cargas verticais. Novamente os pilares são representados por apoios simples e a laje é representada por uma “malha” que é dividida em elementos de barras (discretização). Frequentemente adota-se barras de laje de

comprimento máximo de 50 cm, em regiões de grandes esforços e que precisam de uma análise mais precisa, pode-se intensificar o comprimento das barras diminuindo-as, o que torna o plano mais denso. O presente modelo é ilustrado na Figura 7.

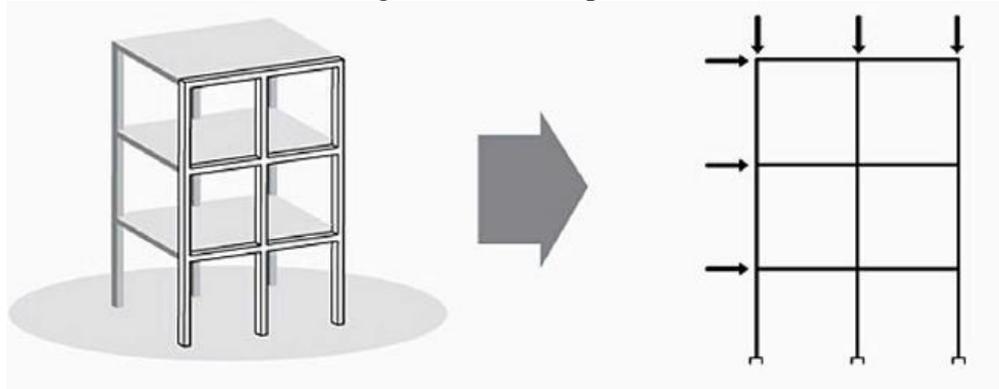
Figura 7 - Grelhas de vigas e lajes.



Fonte: Kimura (2007).

**Pórtico plano:** em tal modelo, mesmo a laje não sendo levada em conta, a estrutura é considerada para uma análise global da edificação, não somente o plano ou linearmente como nos outros modelos apresentados. No pórtico já se admite tanto aplicações verticais e horizontais, como o vento por exemplo. A Figura 8 a seguir compreende melhor o modelo.

Figura 8 - Pórtico plano.

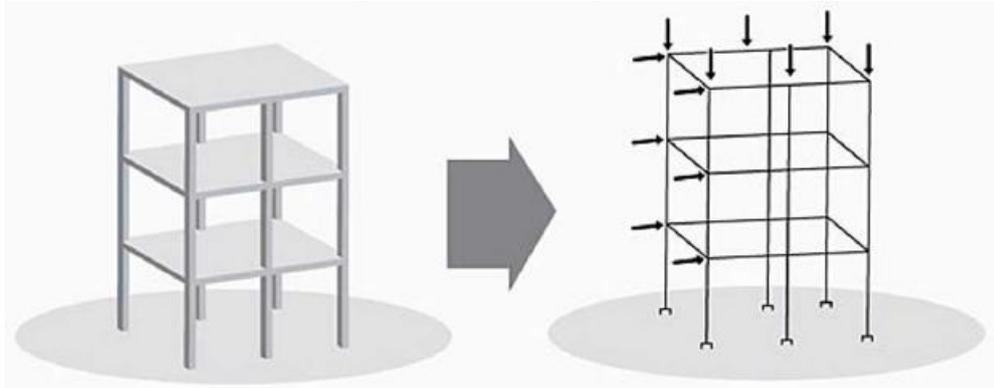


Fonte: Kimura (2007).

**Pórtico espacial:** estrutura considerada tridimensionalmente composta por barras que representam todos os pilares e vigas da construção. Esse modelo é uma análise muito eficaz do comportamento global da estrutura. De acordo com Kimura (2007), neste modelo de pórtico espacial é possível aplicar ações verticais e horizontais, podendo ser considerado em todas as direções e sentidos. As lajes não são consideradas nesse modelo pois possuem alta

rigidez horizontal, formando um diafragma rígido. O pórtico espacial é representado na Figura 9.

Figura 9 - Pórtico espacial.



Fonte: Kimura (2007).

**Combinação de modelos estruturais:** como representado anteriormente, há diversos modelos estruturais a serem empregados para estudo e análise de cálculo, há tantos outros não citados aqui que também foram validados e testados. Com a crescente evolução das ferramentas computacionais aplicadas à engenharia civil, é cada vez mais possível retratar uma estrutura real com a disponibilidade de modelos cada vez mais complexos e abrangentes.

Portanto, como o objetivo do modelo é escolher o que melhor represente uma estrutura real, o pórtico espacial é o mais apropriado para análise estrutural, ou seja, o modelo mais realista.

### 3 INICIANDO O PROJETO

No presente trabalho, representado nos próximos tópicos, o conteúdo é melhor absorvido com o aluno realizando cada etapa simultaneamente no CYPECAD®. A versão 2016 foi a utilizada neste estudo.

#### 3.1 Análise do projeto arquitetônico

É comum que para iniciar um projeto estrutural, o engenheiro receba o projeto arquitetônico para análise. Assim o projetista poderá verificar a planta com cautela e definir alguns parâmetros de compatibilização de projetos como citado anteriormente, evitando que pilares e vigas obstruam portas e janelas, interferindo no projeto arquitetônico da edificação. Um dos objetivos deste trabalho é a comparação e análise de pilares e vigas com outro *software*, o RADISTRUT®, logo, a aproximação e locação de pilares foi primada na concepção da edificação de acordo com as plantas recebidas. A elaboração de projetos estruturais não impede que altere a concepção e locação de pilares para otimizar a estrutura.

A fase de análise do projeto arquitetônico exige certa experiência e pode gerar certa dificuldade para iniciantes por necessitar de um certo nível de conhecimento prático. A locação de pilares e vigas irão garantir a geometria da estrutura e segurança, logo, o arranjo estrutural desses elementos se tornará o esqueleto da edificação, garantindo estabilidade global. É necessário observar o projeto arquitetônico como um todo e definir a maior dimensão do pilar perpendicularmente com a maior dimensão do edifício.

Em questão de vigas, dificilmente residências terão um vão maior que 5 metros, pois grandes lances dependem de seções relativamente maiores e conseqüentemente mais altas. Logo, a possibilidade de interferência no projeto arquitetônico e obstrução de esquadrias se torna mais comum.

#### 3.2 Começando um novo projeto no CYPECAD a partir do arquitetônico

Após a instalação do *software* CYPECAD® versão 2016 no diretório de preferência, foi aberto o aplicativo que é representado na Figura 10.

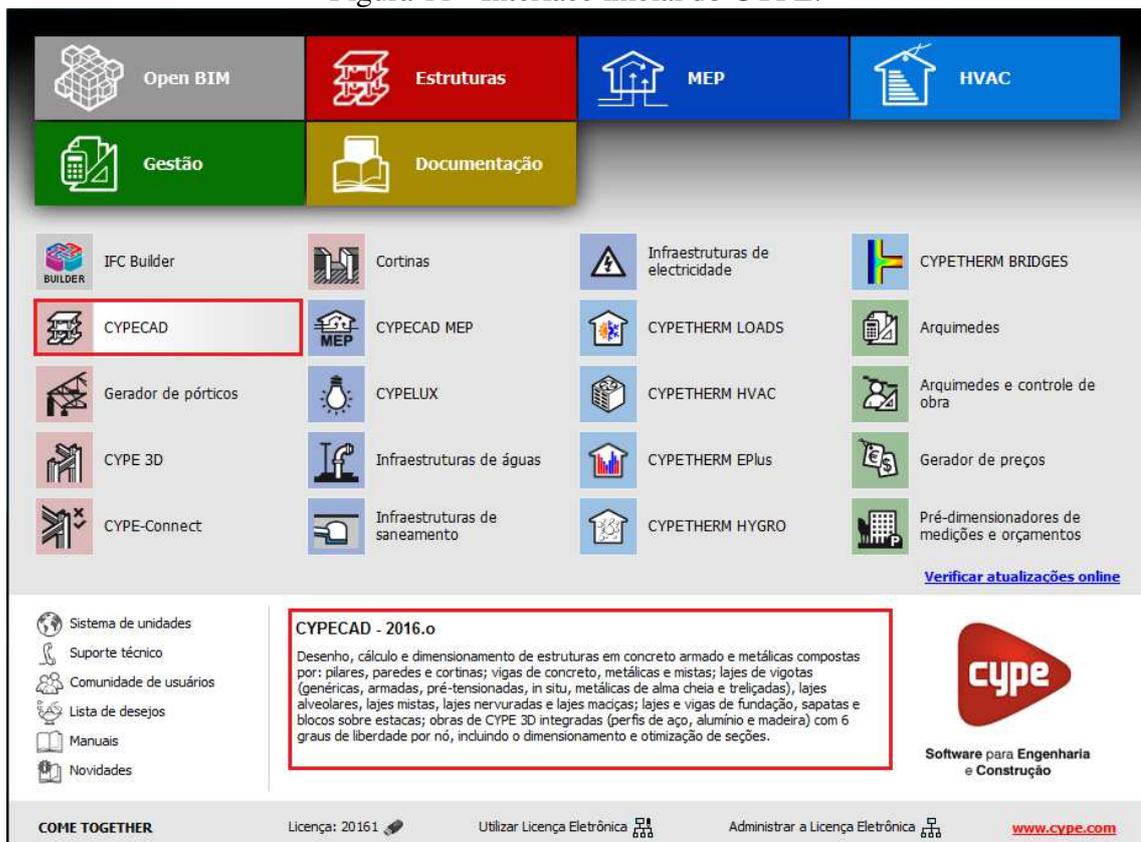
Figura 10 - Ícone do *software* CYPE.



Fonte: Adaptado de CYPE (2016).

A Figura 11 demonstra a interface inicial do CYPE® que é exposta pelo aplicativo, na qual foi selecionada a opção “CYPECAD” destacado a seguir juntamente com a descrição fornecida pelo *software*.

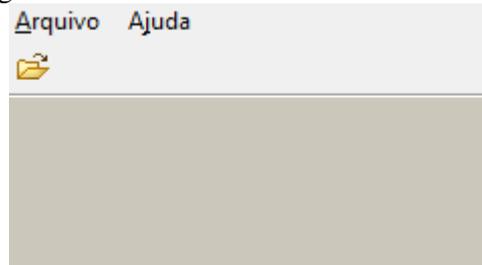
Figura 11 - Interface inicial do CYPE.



Fonte: Adaptado de CYPE (2016).

Logo após um breve carregamento abriu-se a interface inicial do CYPECAD® demonstrado na Figura 12. Foram obtidas as opções no menu principal “Arquivo” e “Ajuda”.

Figura 12 - Interface inicial do CYPECAD.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Selecionando no menu principal a opção “Arquivo” e logo em seguida “Novo”, foi aberta a seguinte janela representada na Figura 13, a qual foi dada o nome de “Estrutural”.

Figura 13 - Nova obra.

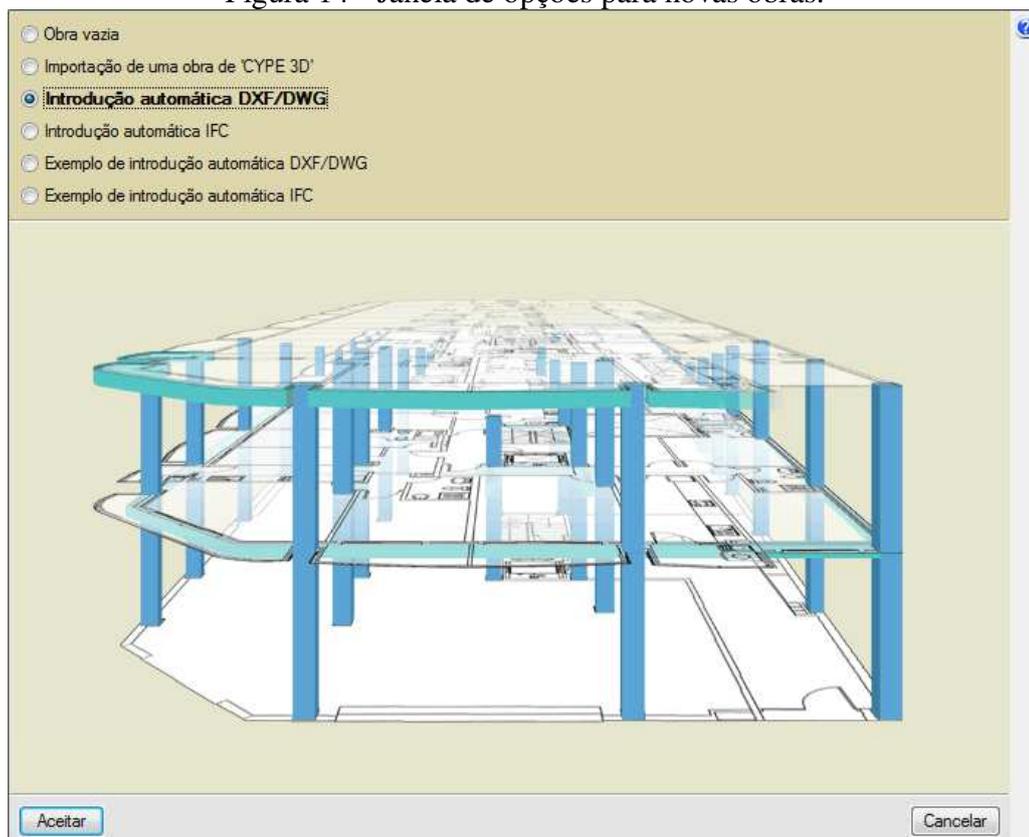
A imagem mostra a janela "Nova obra" do software. Ela contém os seguintes campos e botões:

- Nome da obra: C:\CYPE Ingenieros\Projetos\CYPECAD\ (com botão "Examinar" ao lado)
- Nome do Arquivo: Estrutural (com extensão ".c3e" ao lado)
- Descrição: Projeto Estrutural
- Botões "Aceitar" e "Cancelar" na base da janela.

Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Clicando em “Aceitar” o *software* disponibilizou uma nova janela de opções para seleção. Para o projeto foi selecionada a “Introdução automática DXF/DWG” demonstrada na Figura 14.

Figura 14 - Janela de opções para novas obras.

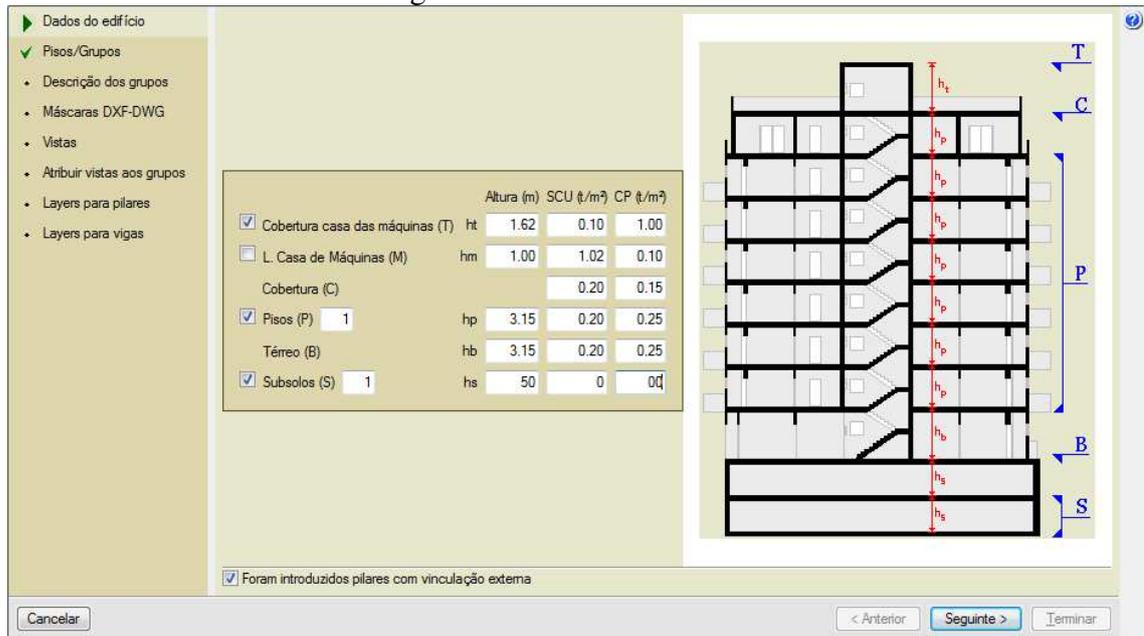


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.3 Introdução de dados da edificação

Para a janela de introdução automática aberta a seguir representada na Figura 15, na seleção “Dados do Edifício”, foram consultados os valores nas plantas arquitetônicas e alimentados com as cotas condizentes de pé direito, incluindo a espessura de cada laje no campo “Altura (m)” de cada pavimento, também os valores das cargas permanentes no campo “CP (t/m<sup>2</sup>)” e os valores de sobrecarga no campo “SCU (t/m<sup>2</sup>)”. Para introdução de valores corretos condizentes com a estrutura consultou-se as normas ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 6120:1980. Como não foi calculada a fundação, deixou-se a altura de 50 cm no “subsolo (S)” apenas representativa.

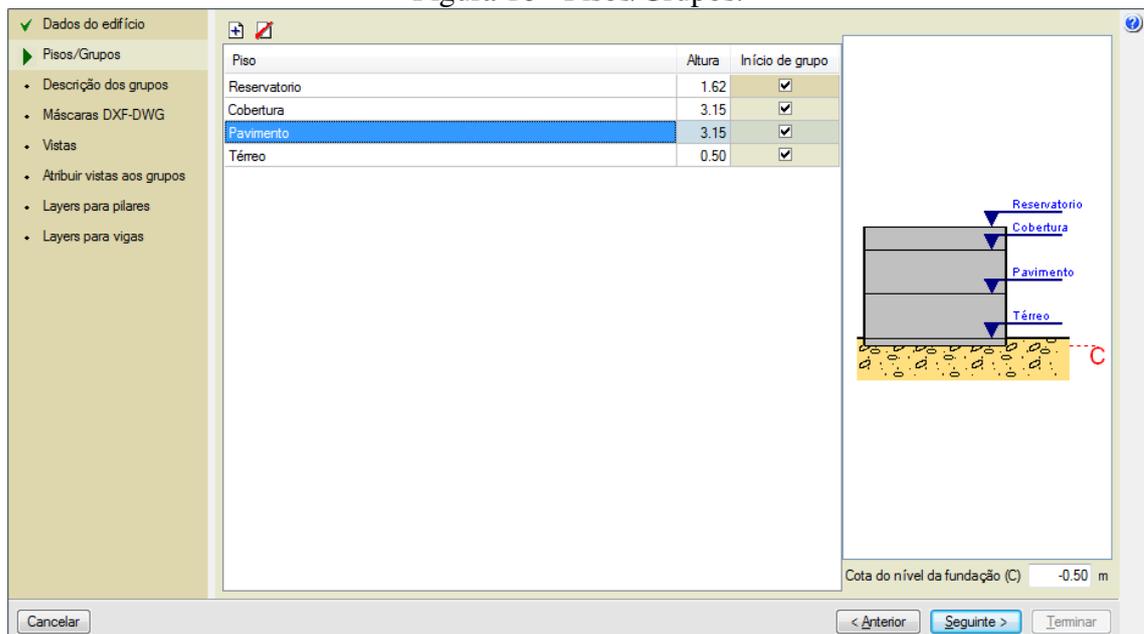
Figura 15 - Dados do edifício.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Clicando em “Seguinte”, o software encaminha para a próxima seção, de “Pisos/Grupos” representado na Figura 16. Nela foi editado o nome dos pisos para reservatório, cobertura, pavimento e térreo. Novamente o *software* trouxe a altura dos valores inseridos como representado na Figura 15 anterior. A cota do nível de fundação representado no canto inferior direito com a sigla *C* é igual a cota do nível do subsolo inserido anteriormente, logo, 50 cm.

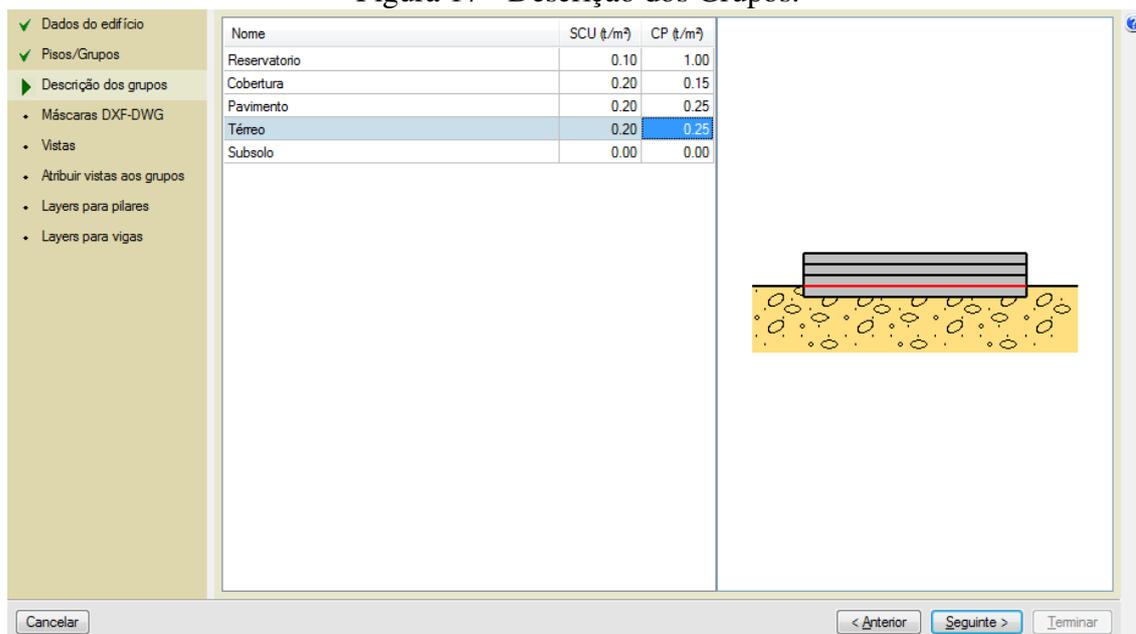
Figura 16 - Pisos/Grupos.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Logo após a confirmação em “Seguinte”, aparece o campo “Descrição dos Grupos”. Nela pode-se novamente editar e confirmar os valores de carga inseridos anteriormente. O *software* dispõe de ferramentas para edição de valores após essa entrada de dados, no caso de inserção de valores incorretos. A Figura 17 demonstra a confirmação e edição de cargas e sobrecargas.

Figura 17 - Descrição dos Grupos.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

No campo de “Máscaras DXF-DWG”, inicialmente aparece vazio para assim inserirmos as plantas importadas do AutoCAD®, clicando em “Acrescentar novo elemento à lista”. Cada pavimento descrito anteriormente deverá possuir uma planta. Logo, precisa-se de três arquivos DWG (um para o térreo, um para o pavimento e cobertura e outro para o reservatório) para posteriormente assimilar com os respectivos pisos. Nesta etapa de muita importância, os arquivos importados devem estar o mais resumido possível, de preferência, constando apenas os elementos estruturais (pilares, alvenarias) e o ponto fixo, utilizando apenas uma *layer* para cada elemento. O CYPECAD® já faz a importação de dados da planta em DWG, logo o nome das camadas também é inserido automaticamente. Aqui o usuário pode marcar e desmarcar as camadas utilizadas para o projeto. Isso irá garantir agilidade e compreensão na captura de elementos durante o processo de introdução dos mesmos.

A janela citada acima está representada na Figura 18.

Figura 18 - Máscaras DXF-DWG.



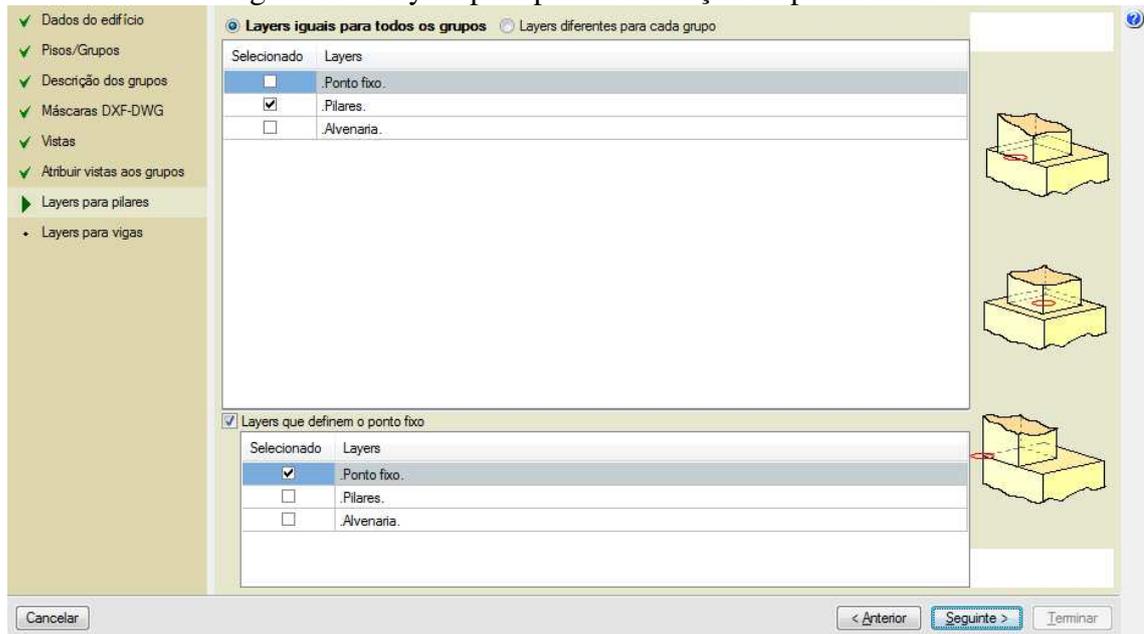
Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Subsequente ao campo “Vistas”, tem-se a opção de atribuir cada *layer* que se deseja ver em cada máscara adicionada. Seguindo para “Atribuir vistas para o grupo”, deve-se selecionar qual máscara deverá ser exibida em cada piso. Logo, foi feita a seguinte seleção:

- Térreo, exibindo somente a máscara Fundação;
- Pavimento, exibindo somente a máscara Pavimento;
- Cobertura, exibindo somente a máscara Pavimento;
- Reservatório, exibindo somente a máscara Reservatório.

Logo após, ao confirmar em “seguinte”, entra-se no campo de “Layers para pilares”. Esta etapa deve ser executada com muita atenção pois o CYPECAD® irá reconhecer a *layer* dos pilares e lançá-los automaticamente. A questão do ponto fixo é de extrema importância pois será a partir dele que o *software* reconhecerá um pavimento sobre o outro. Segue a Figura 19 para melhor entendimento.

Figura 19 - Layers para pilares e seleção de ponto fixo.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

No campo de “Layers para vigas” as vigas não foram alimentadas pois isso seria feito no decorrer do processo de concepção do projeto por opção de captura. Logo, é disponibilizada a opção “Terminar” no canto inferior direito. O *software* irá processar os dados inseridos e será aberta uma nova janela de “Dados Gerais”, como exemplificado na Figura 20. Aqui, tem-se a opção de selecionar as normas que serão usadas, o traço do concreto usado na edificação para pilares e lajes que, nesse projeto foi de classe “C30 em geral” (que pode ser modificado individualmente). Também existe a opção de modificar o tipo do aço a ser utilizado. Dentro desta, é possível definir diversos parâmetros, desde armaduras mínimas e máximas, comprimentos, dobras, ancoragens, dentre muitos outros. No campo de “Ações” temos opções de editar novamente as cargas permanentes e de sobrecarga, ativar opções de vento, sismos e resistência ao fogo.

Figura 20 - Dados gerais.

Chave: **Estrutural**

Descrição: Projeto Estrutural

Normas: ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9

**Concreto armado**

**Concreto**

Pisos: C30, em geral

Fundação: C30, em geral

Tubulões: C30, em geral

Pilares: C30, em geral

Cortinas: C30, em geral

Características do agregado: Granito (15 mm)

**Aço**

Barras: CA-50

Parafusos: ISO 898.C4.6

**Perfis**

**Aço**

Laminados e soldados: A-36 250Mpa

Dobrados: CF-26

**Madeira**

Serrada - Coníferas - C20

**Alumínio extrudado**

EN AW-5083 - F

**Ações**

Carga permanente e sobrecarga

Com ação do vento: NBR 6123 (Brasil)

Com ação sísmica

Verificar resistência ao fogo

Estados limites (combinações)

Ações adicionais (cargas especiais)

**Coeficientes de flambagem**

Pilares de betão e mistos

Bx: 1.000 By: 1.000

Pilares em aço

Bx: 1.000 By: 1.000

**Ambiente**

Vigas: CAA I (Abertura máxima de fissura: 0.40 mm)

Blocos de coroamento: CAA I

Aceitar

Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Ativando a caixa da opção “Com ação do vento” será aberta outra janela (exemplificada na Figura 21). Alimentando os dados de “Larguras de faixa” de acordo com as cotas obtidas no projeto arquitetônico, obteve-se 13,60 m e 16,17 m em suas respectivas direções. No campo de “Velocidade básica” inseriu-se os dados do vento referente à posição da edificação no país. Neste exemplo, estamos calculando uma obra na região do Triângulo Mineiro, na divisa com o Alto Paranaíba. Logo, a velocidade básica é 30 m/s, e a consulta da velocidade pode ser melhor observada ao clicar no mapa que irá expandir e oferecer melhor visualização de valores. No próximo campo, foi encaixada a edificação na “Categoria IV” – Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. No campo subsequente, definiu-se como “Classe A” – Toda edificação da qual

a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20 m. Seguindo para o campo Fator Probabilístico selecionamos a opção “Grupo 2” – Edificações para hotéis e residências.

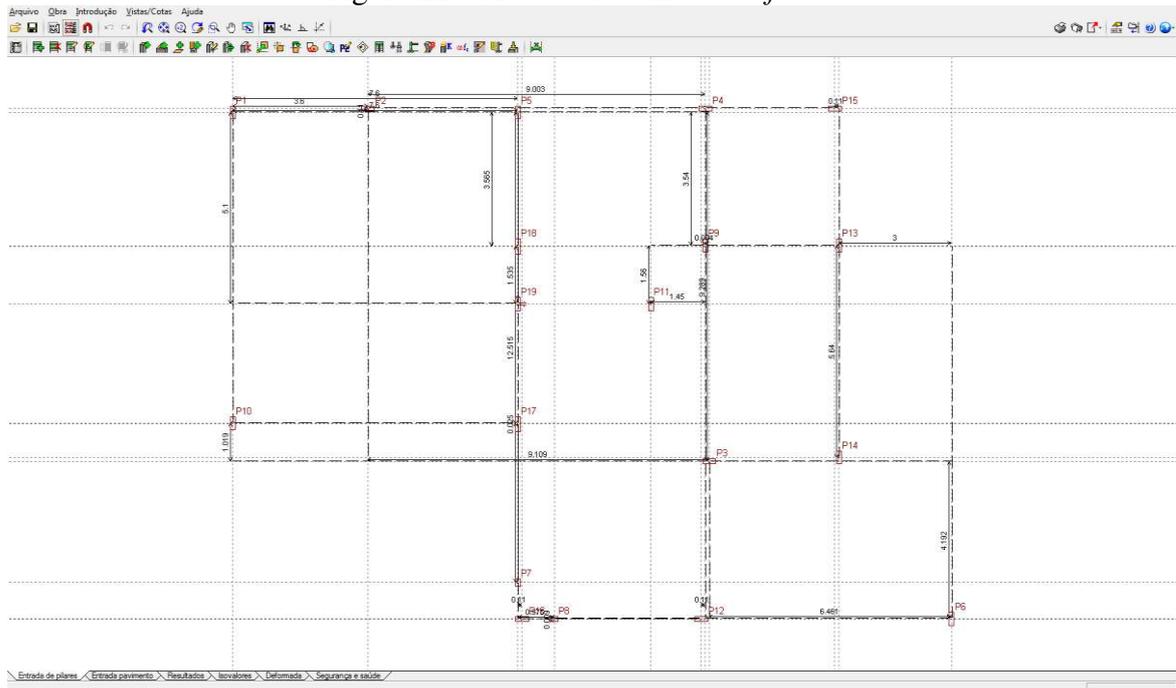
Figura 21 - Janela ação do vento.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.4 Incluindo elementos estruturais

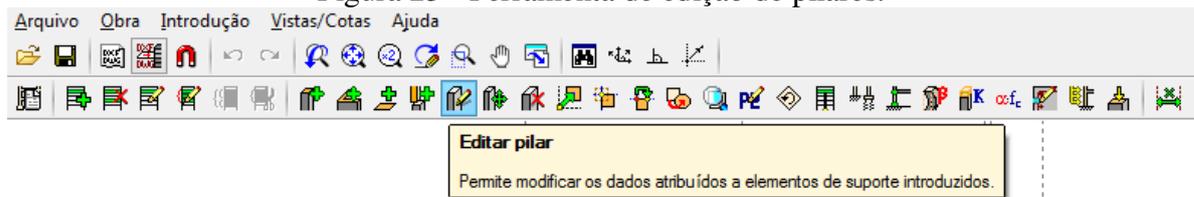
Após a confirmação dos dados de vento e dos dados gerais, clicando em “Aceitar”, o *software* irá demonstrar uma nova janela de “Estados Limites”. Nela é possível verificar e selecionar as normas que estarão vigentes na edificação, como já fora definido anteriormente. Novamente, clicando em “Aceitar”, se é direcionado para uma janela de trabalho, onde serão estabelecidos todos os detalhes da obra e edição dos mesmos. Neste momento, todos os pilares já foram alocados com suas respectivas medidas da planta do projeto estrutural recebido afim de comparação. O programa traz também as cotas entre os pilares alocados, que podem ser retiradas na ferramenta “Vistas/Cotas” ao selecionar “Cotas Visíveis”, e que pode ser feita da mesma forma, quando necessária a ativação. A Figura 22 a seguir demonstra a janela de trabalho.

Figura 22 - Área de trabalho do *software*.

Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

O próximo passo é editar os pilares já alocados, definindo início e fim de cada um. Também foi definido a referência de cada pilar, de acordo com o estrutural recebido pelo já calculado no RADISTRUT®. A edição é possível clicando na opção “editar pilar”, representado na Figura 23.

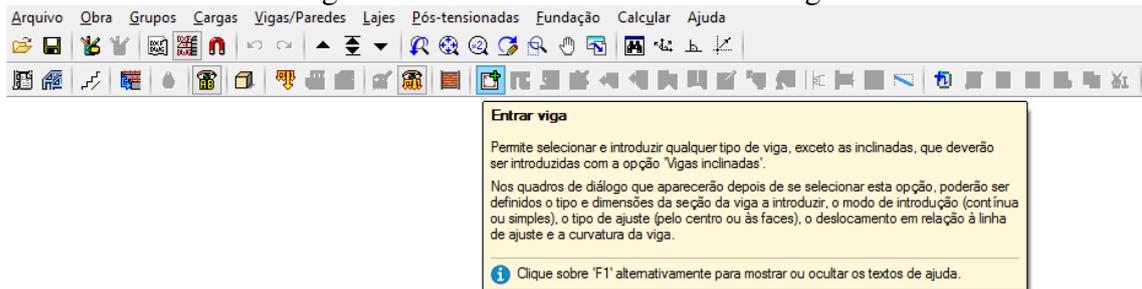
Figura 23 - Ferramenta de edição de pilares.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Mudando para a aba “Entrada pavimento” são disponibilizadas novas ferramentas, entre elas a “Entrar viga”. Nela foram lançadas todas as vigas e as lajes em balanço, seguindo como referência as medidas recebidas do estrutural, inserindo mesmas seções e permitindo ao *software* a liberdade de colocar suas próprias armaduras. A ferramenta “Entrar viga” é exemplificada na Figura 24.

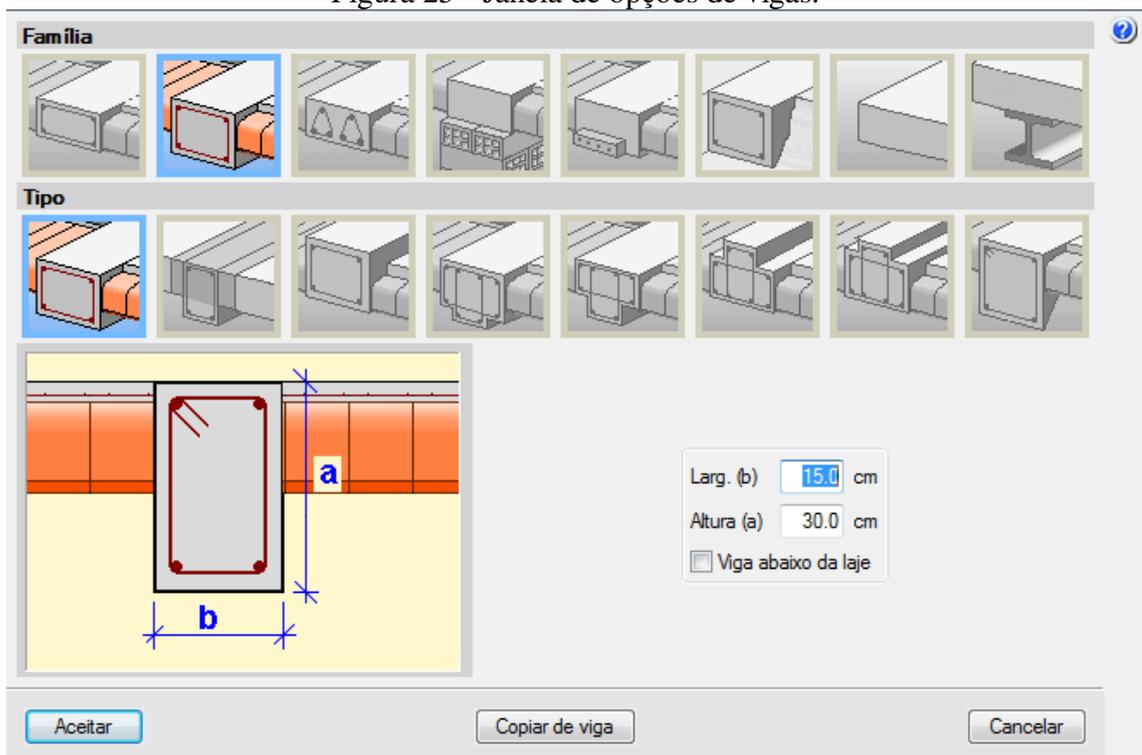
Figura 24 - Ferramenta de entrada de vigas.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

O *software* dispõe de uma variedade de vigas em seu acervo, desde vigas normais à invertidas, de concreto à metálicas. A seguir, a Figura 25 retrata a janela de opções de vigas. De acordo com o estrutural tem-se medidas padrões nas vigas baldrame, de 15x30 cm e nos outros pavimentos há variações de seção de acordo com o estrutural.

Figura 25 - Janela de opções de vigas.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Logo, com a introdução de todas as vigas, em todos os pavimentos, tomado como referência o projeto estrutural à visualização 3D da edificação, deve-se ficar da maneira exemplificada na Figura 26.

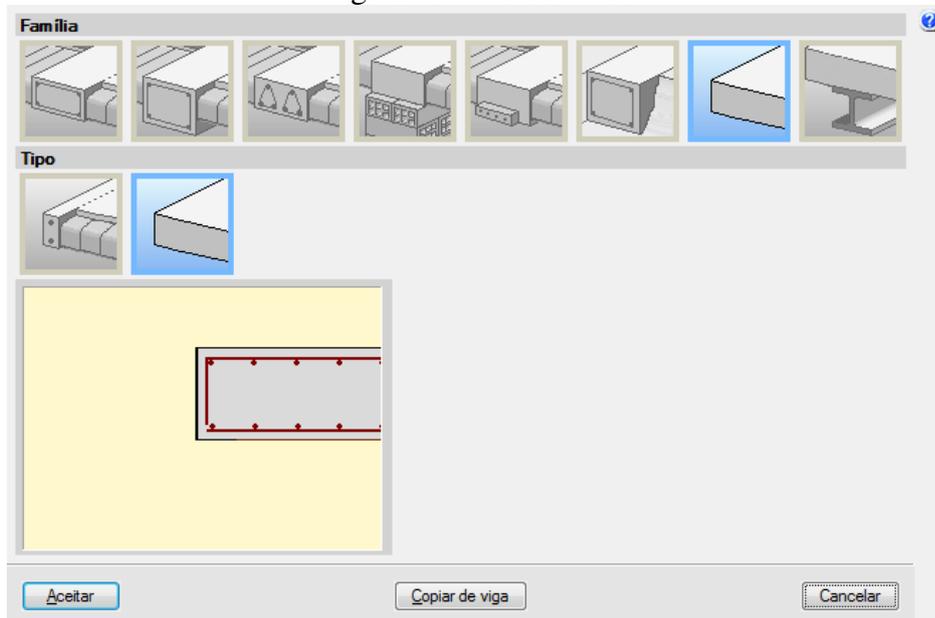
Figura 26 - Estrutura após lançamento de pilares e vigas.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Neste passo, seleciona-se a ferramenta “Entrar viga”, no campo “Família”, a opção “Nervura não estrutural” e o tipo “Borda livre” para lançar marquises, sacadas e lajes em balanço. Como referência, tomamos o projeto arquitetônico para posicionamento adequado das mesmas. Segue a Figura 27 para melhor compreensão.

Figura 27 - Borda livre.

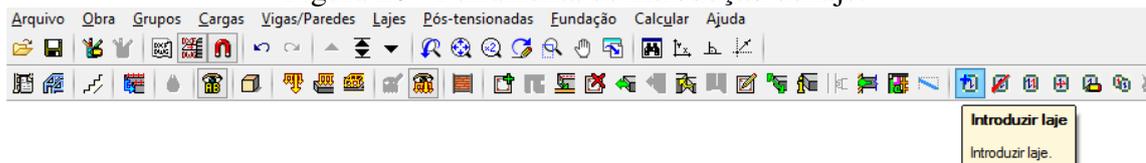


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Prosseguindo para a introdução de lajes, utiliza-se a ferramenta “Introduzir laje” para completar o esqueleto estrutural da edificação demonstrado na Figura 28. No presente projeto, foi utilizado o tipo de laje descrita como “Lajes maciças” e “Paralelo a uma viga”. Foi

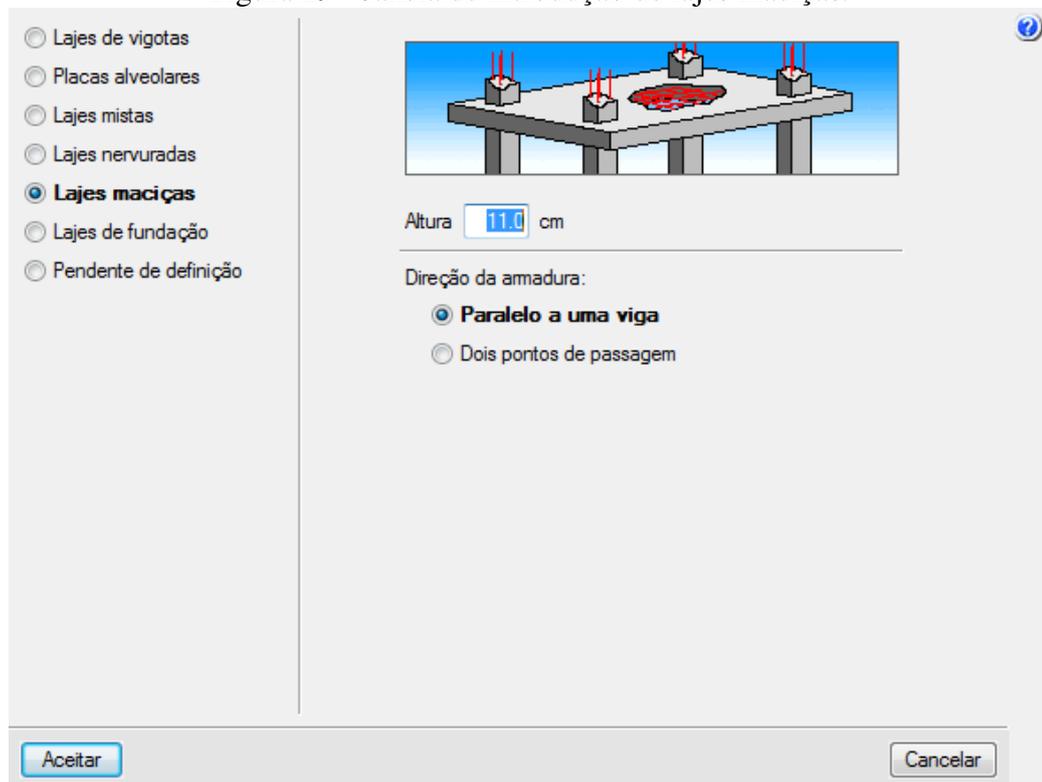
estipulado o valor de 11 cm de altura, de acordo com o projeto estrutural recebido como orientação e foram introduzidas lajes no pavimento 1, cobertura e no reservatório, também nos locais onde foram colocadas bordas livres, ou seja, marquises e sacadas. No piso térreo não foi introduzida laje, pois não é necessário o cálculo da mesma, uma vez que foi considerada que a construção estava sendo executada sobre um solo compacto. Logo, o solo recebe os esforços e os dissipa. Como precaução em uma obra, costuma-se armá-la com uma tela para evitar possíveis fissurações. O *software* fornece a opção de “Introduzir abertura” para os vãos de escadas e mezaninos, e como existe uma escada no projeto, foi colocada uma abertura equivalente ao projeto arquitetônico. Segue a Figura 29, da janela de seleção do tipo de laje, e a Figura 30 para comparativo de como os elementos devem estar dispostos nesta fase.

Figura 28 - Ferramenta de introdução de laje.



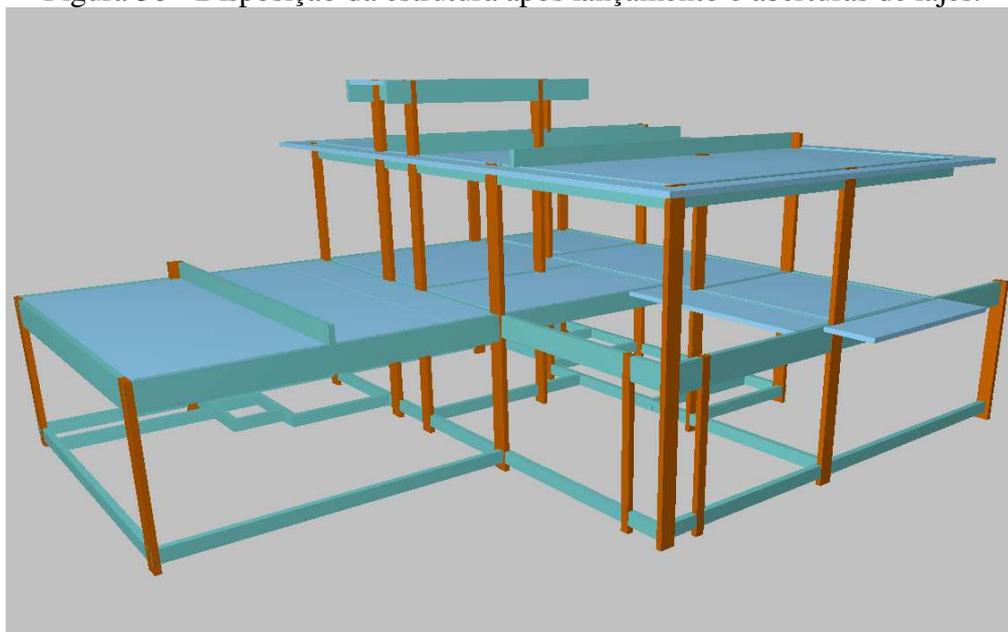
Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 29 - Janela de introdução de lajes maciças.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 30 - Disposição da estrutura após lançamento e aberturas de lajes.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.5 Escada

Nesta etapa de escadas, o *software* disponibiliza uma ferramenta para criação ou seleção de um modelo de escada predefinido, que apresenta uma série de moldes com diversos lances, número de pisos e altura de espelhos. Logo, a escada utilizada não se encaixou em nenhum modelo apresentado, então foi necessário criar uma nova. Deve-se ressaltar a questão da demanda de experiência para se criar uma nova escada que fique de acordo com o planejado no projeto arquitetônico. Neste passo foi necessária demasiada atenção e acompanhamento para uma elaboração de escada condizente, pois são muitos passos e necessita de uma compreensão de termos e nomenclaturas da área de Engenharia Civil.

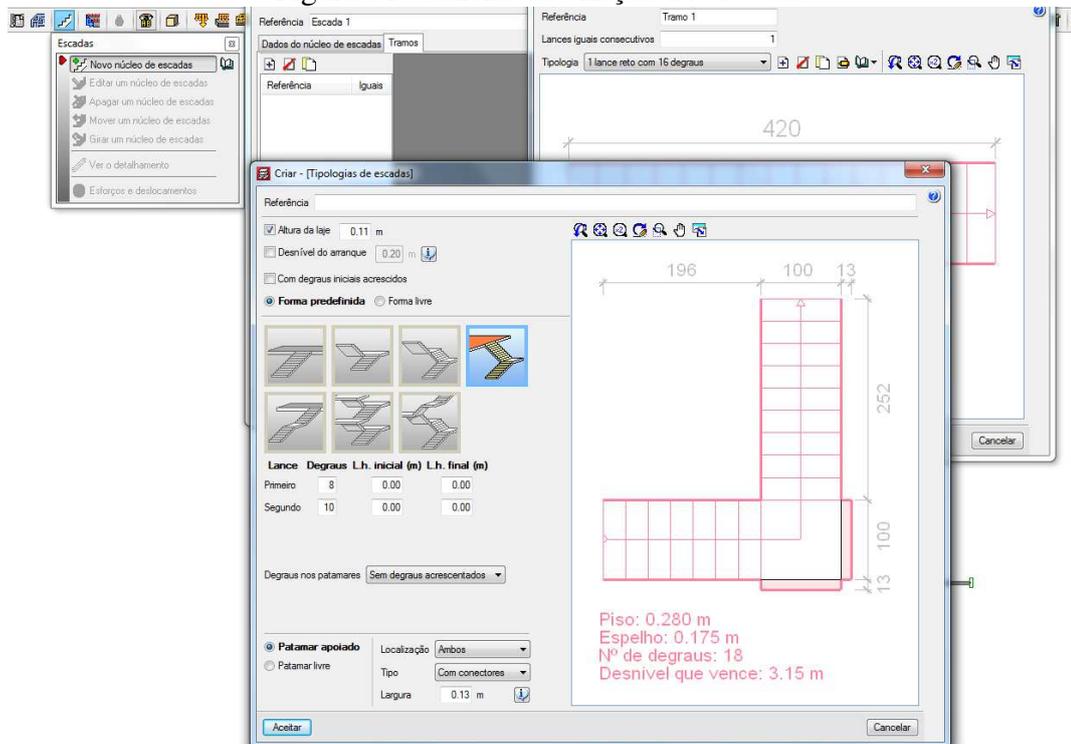
Clicando em “Escadas”, na barra de ferramentas localizada no canto superior esquerdo da área de trabalho, é aberta uma nova janela com a opção “Novo núcleo de escadas”. Selecionando-a, será aberta uma nova janela contendo duas abas, “Dados do núcleo de escadas” e “Tramos”. Ao selecionar “Tramos”, é apresentado uma janela vazia com as opções de “Criar novo tramo”; clicando nessa opção, é direcionado a mais uma janela denominada “Tramo”, do lado direito da caixa de seleção de “Tipologia” temos a opção “Criar”.

Essa é janela final para criação da escada que foi usada no projeto. Logo no início, foi apresentada uma caixa de texto de “Referência” para salvar a escada após sua concepção. Em “Altura da laje”, como a de projeto arquitetônico foi alimentado com o valor de 15 cm, foi

selecionada a opção “Forma predefinida” e nos quadros ilustrados a opção “Dois lances retos com patamar de ¼ de volta”. Em seguida foi definida a quantidade de degraus no primeiro e segundo lance, que de acordo com o projeto arquitetônico, tem-se presente 8 degraus no primeiro e 10 degraus no segundo lance. Para o patamar, selecionou-se “Patamar apoiado”; na caixa de “Localização” selecionou-se “Ambos”, esse apoio gerado foi conectado nos pilares PE1 e PE2 ao selecionar a opção “Com conectores” na caixa de “Tipo”. Clicando em aceitar nas janelas já percorridas, foi feito o caminho inverso, verificando se a escada desenhada estava em seleção e por fim, esta foi posicionada no projeto estrutural.

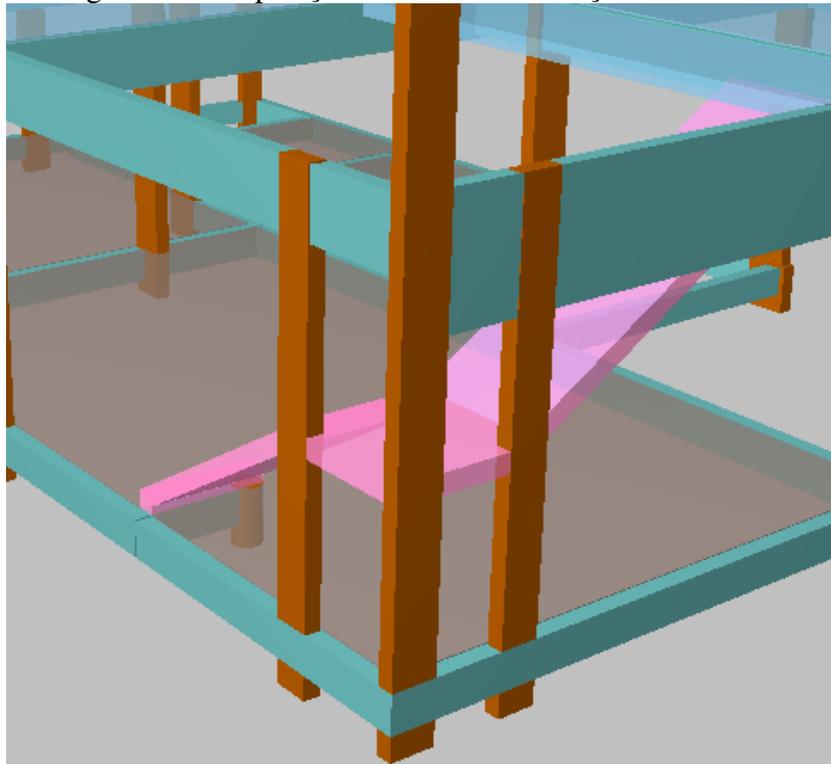
Todo o processo de criação está exemplificado na Figura 31 e o posicionamento correto da escada na Figura 32.

Figura 31 - Janelas de criação de escadas.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 32 - Disposição da escada em relação à estrutura.

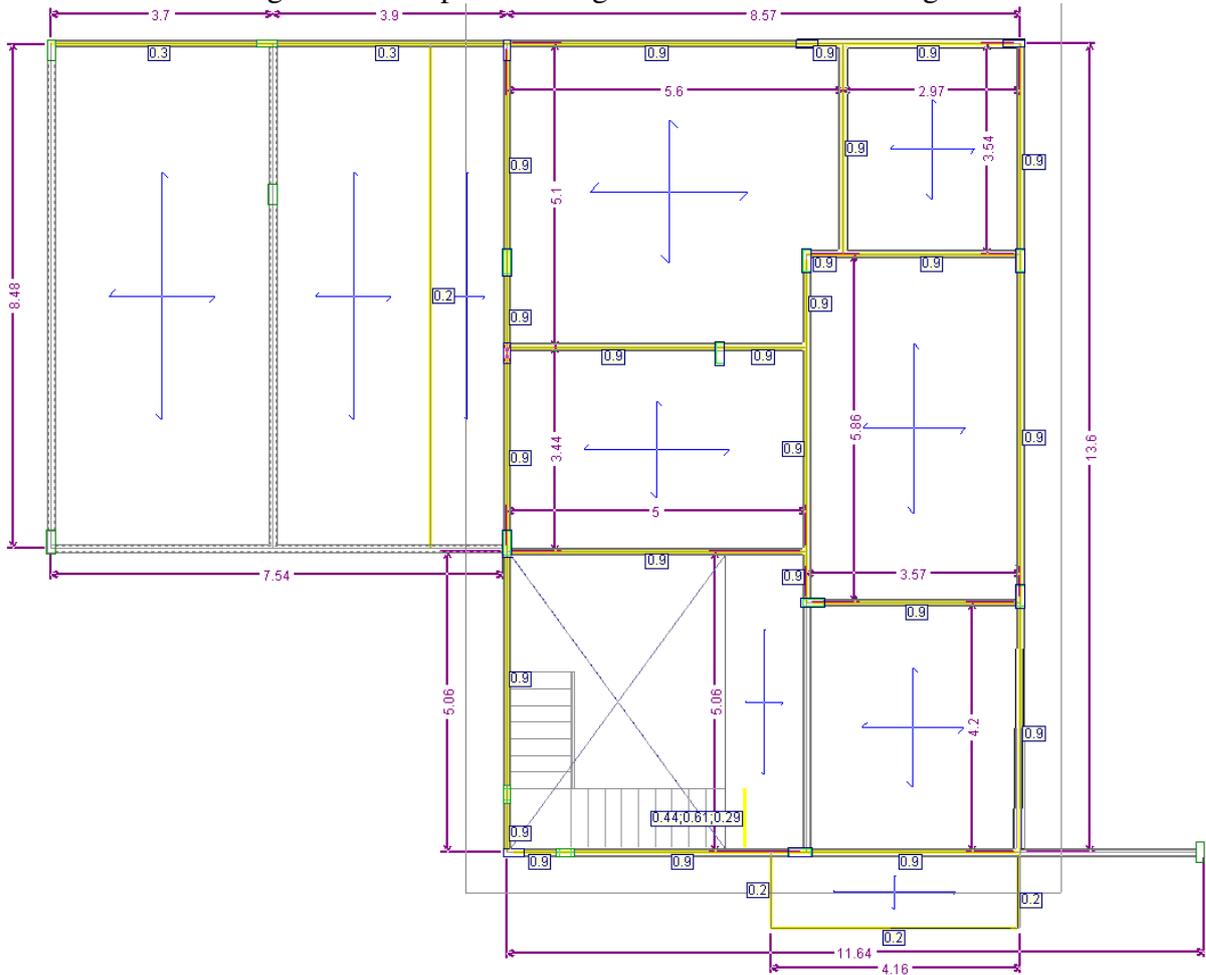


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.6 Elementos construtivos e cargas

Antes de calcular a obra, é preciso introduzir as cargas das paredes. Seguido pela norma ABNT NBR 6120:1980, define-se a carga de cada tipo de elemento estrutural. Logo, para esta edificação, foi usada alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento em concreto. A carga aplicada será de 3 KN/m, então no *software* foi introduzido como 0.3 t/m multiplicado pela altura da parede. As paredes entre pavimentos possuem 3 metros de altura, de acordo com o pé direito do projeto arquitetônico, dessa forma, a carga introduzida foi de 0.9 t/m sobre as vigas. Deve-se também incluir cargas das paredes de platibandas existentes. Nos parapeitos de sacadas e marquises, a ABNT NBR 6120:1980 recomenda a carga de 2 KN/m com isso, foi introduzida a carga de 0.2 t/m. A Figura 33 demonstra, na cor amarela, as cargas sobre as vigas exemplificadas no pavimento.

Figura 33 - Respectivas cargas calculadas sobre as vigas.

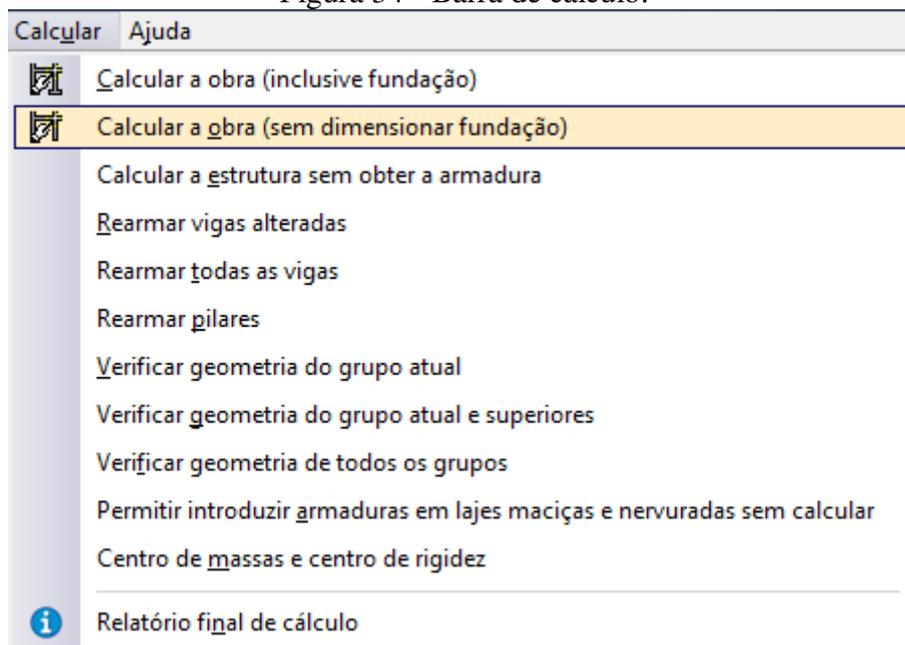


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.7 Calculando a obra e correção de elementos

Terminando o lançamento de cargas, o cálculo da estrutura já pode ser iniciado. Na barra de ferramentas, foi selecionada a opção “Calcular” e em seguida “Calcular a obra (sem dimensionar fundação)”, pois neste projeto não foi incluso o cálculo de fundação. A Figura 34 explicita claramente a opção a ser selecionada a seguir.

Figura 34 - Barra de cálculo.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Nesta etapa o *software* pode demonstrar irregularidades em um relatório de erros e avisos, podendo ser das mais variadas causas, como vigas inseridas incorretamente, cargas fora dos pisos, pilares com e sem vinculação exterior não coerentes. Nesse relatório o CYPECAD® prontifica a causa do erro, demonstrando a coordenada do piso e sua localidade no plano, facilitando a correção. Os avisos não são irregularidades, o *software* notifica as situações em questão, apenas por segurança, mas não impede que o cálculo seja executado.

Caso o programa não apresente nenhuma irregularidade, ele iniciará o cálculo piso por piso, podendo demorar de acordo com o tamanho da obra e o processador do *hardware*. Ao terminar, ele exibirá o relatório de erros para serem corrigidos como exemplificado na Figura 35.

Figura 35 - Relatório de erros.

#### Erros de cálculo da obra 'Estrutural' (Versão 2016.o)

Grupo 2:  
- Seções com reforço por punção ou cortante

Grupo 4:  
- Seções com reforço por punção ou cortante

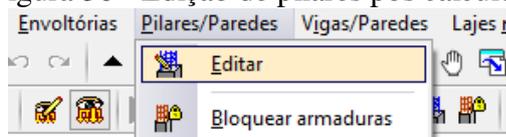
Grupo 2:  
As vigas 1 (viga 4), 31 (viga 6), 2 (viga 7), 3 (viga 8) e 33 (viga 8) têm o seguinte erro: Algumas verificações não foram cumpridas.

Grupo 3:  
As vigas 10 (viga 5), 11 (viga 5), 7 (viga 7) e 8 (viga 7) têm o seguinte erro: Algumas verificações não foram cumpridas.

Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Fechando o relatório, os erros podem ser corrigidos na aba “Resultados”. Se o erro for em relação aos pilares, podem ser reparados nas opções “Pilares/Paredes” e “Editar” como Figura 36. Clicando em seguida em cima do pilar notificado, abrirá uma janela de edição, onde será possível editar todos os pilares da obra, alterar sua seção e armadura. Verificações e relatórios de erro de cada pilar individualmente são feitos na janela de edição, como ilustrado na Figura 37.

Figura 36 - Edição de pilares pós cálculo.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 37 - Janela de edição de pilares pós cálculo.

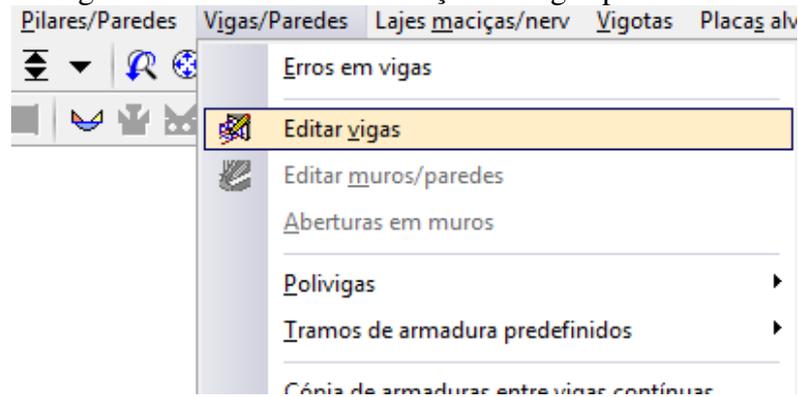
The screenshot shows the 'Edição de pilares' window. On the left, there is a list of columns (Pilares) with checkboxes and status indicators. The main area contains a table for 'Edição de armadura' with columns for dimensions, cards, and reinforcement. Below this is a table for 'Resumo das verificações' (Summary of verifications) with columns for pillar, position, displacement, armature, and various verification results.

Pilar	Posição	Disp.	Arm.	Verificações	Q (C)	N.M (C)	Apov. (C)	Comb.	Vel.	H	Max. Ely	Min. Ely	Qx	Qy	Max. Ely	Min. Ely	Reflexão	Es.	Com.
B1	Ext. Superior	✓	✓	4.4	88.3	88.3	1.4 PP	Q.N.M	26.32	-1.26	-1.93	0.06	-0.29	-0.58	-0.10				
	Ext. Inferior	✓	✓	4.4	87.8	87.8	1.4 PP	Q.N.M	26.87	0.96	1.98	0.06	-0.29	0.32	0.08				

Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Também é possível da mesma forma editar vigas incoerentes evidenciadas no relatório de cálculo, clicando na ferramenta “Vigas/Paredes” e em seguida “Editar vigas” como ilustrado na Figura 38. Por sequente, clicando na viga, abrirá a janela de edições de vigas, que contém o detalhamento de armaduras com a possibilidade de editá-las, tanto armaduras longitudinais quanto transversais, erros a serem corrigidos, verificações do ELU e ELS, verificações de flechas, gráficos de área de armadura e um mapa na parte superior esquerda dando a liberdade de mudar para outra viga. A janela de edição de vigas é apresentada na Figura 39.

Figura 38 - Ferramenta de edição de vigas pós cálculo.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 39 - Janela de ferramenta de edição de vigas pós cálculo.

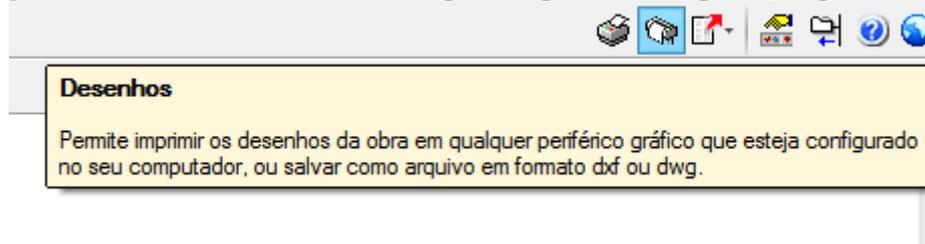


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

### 3.8 Impressão de pranchas de detalhamento

Após corrigir os erros e recalcular a obra, até não apresentar mais nenhuma irregularidade, o *software* oferece a opção de impressão de pranchas detalhadas de todos os elementos construtivos, sendo possível a impressão ou a exportação para outras plataformas como o AutoCAD®. A opção em questão é exemplificada na Figura 40, localizada no canto superior direito do CYPECAD®.

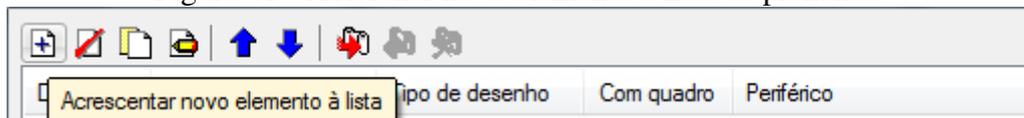
Figura 40 - Ferramenta "Desenhos" para impressão e exportação para DWG.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

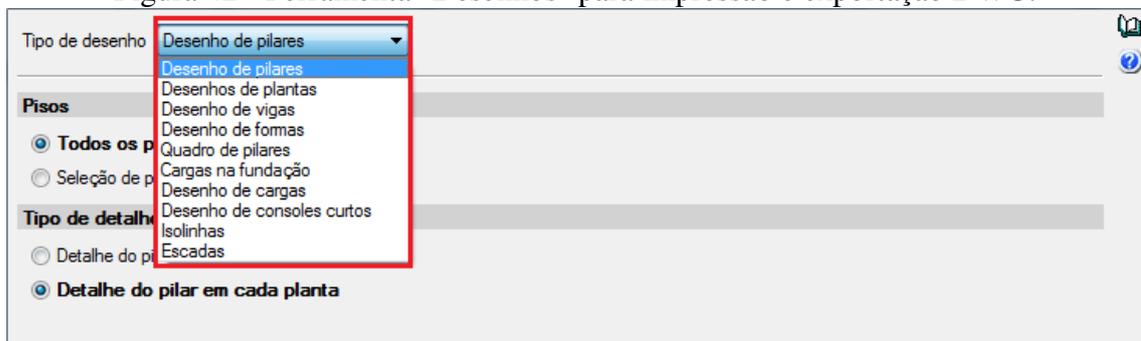
Em seguida será exibida uma janela como na Figura 41, onde, ao clicar em “Acrescentar novo elemento à lista” é possível selecionar o tipo de estrutura a ser detalhada. A Figura 42 demonstra todos os exemplos de pranchas de estruturas.

Figura 41 - Adicionar novo elemento à lista de pranchas.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

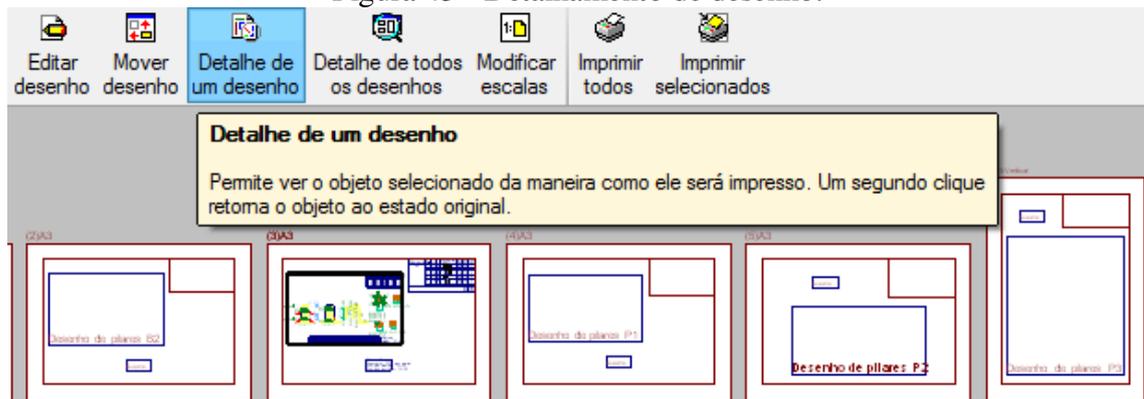
Figura 42 - Ferramenta "Desenhos" para impressão e exportação DWG.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Como opção de encerramento de projeto, ao clicar em “Aceitar”, o *software* o envia para a janela de detalhamentos, a fim de preservar o processamento. Haverá apenas pranchas ocultas, ou seja, deverá revelar o conteúdo da prancha clicando em “Detalhe de um desenho” ou a opção do lado direito “Detalhe de todos os desenhos” para revelar todos os detalhamentos, assim como exemplificado na Figura 43. É importante ressaltar que o *software* descreve a referência de pilares como foi introduzido e editado no começo do projeto. Cada ferramenta citada na Figura 42 irá gerar detalhamentos diferentes.

Figura 43 - Detalhamento de desenho.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho tem como objetivo o comparativo estrutural entre os *softwares* descritos anteriormente. Como são muitos detalhamentos e muitas pranchas, serão feitos o comparativo de alguns pilares, vigas e lajes, demonstrando novas concepções julgadas necessárias.

Referente às armaduras dos pilares, foi deixado o dimensionamento mínimo ao critério do *software*, alterando apenas a seção quando necessária. Quando ocorria alguma modificação, era feita em toda sua extensão, garantindo uma única forma para assim, não conter dimensões diferentes em cada pavimento, o que facilitava também a execução da obra. No geral, a primeira impressão que o dimensionamento nos dispõe é que o CYPECAD® aparenta algumas armaduras com diâmetros acima dos pilares calculados no RADISTRUT®, talvez frisando segurança. É importante ressaltar também a introdução de três pilares, onde um deles melhora a concepção de projeto e divide uma viga, reduzindo a carga nos demais pilares próximos e os outros dois são apenas representativos, pois o *software* não disponibiliza a opção de broca morta. Logo, os pilares em questão estão apenas no nível das vigas baldrames.

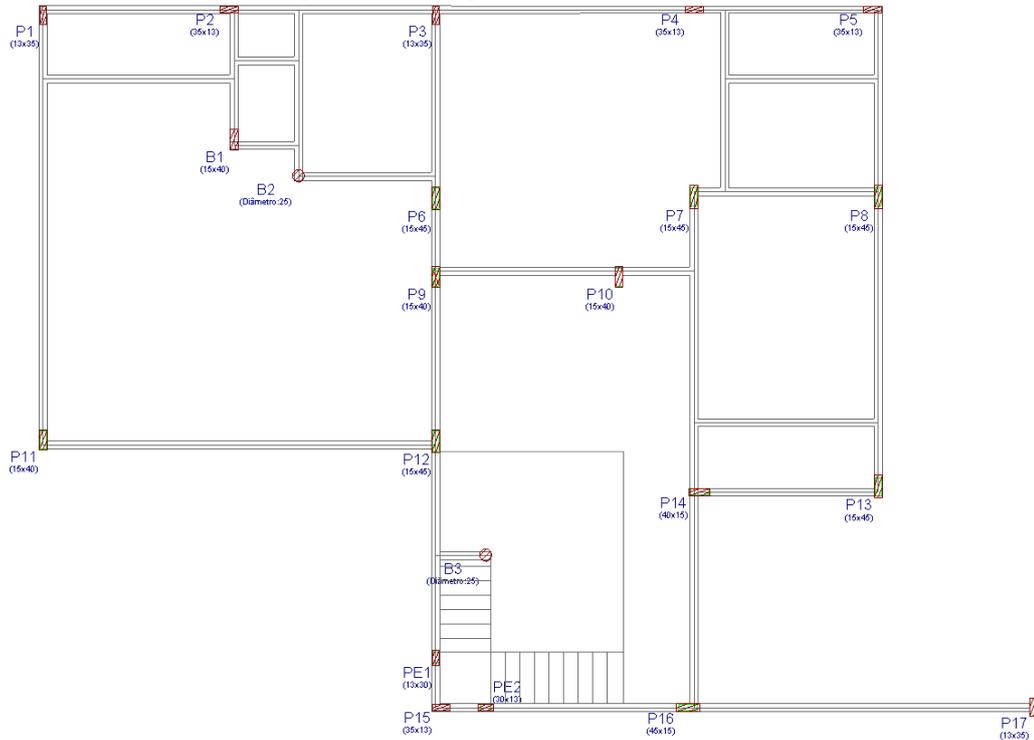
Quanto às vigas, foram introduzidas seções iguais para dimensionamento. Após cálculos, foram alteradas atendendo à solicitação do *software*. Em relação às armaduras, foi estipulado um diâmetro mínimo de 8 mm tanto para positivas quanto negativas. Já as armaduras de reforço, pele, estribos e demais, ficaram a critério do CYPECAD®. Como citado anteriormente, é incomum residências de pequeno porte conterem vigas com vãos maiores que 5 m, mas esta edificação possui dois vãos de aproximadamente 8 m e um de aproximadamente 6 m, o que exigiu bastante em relação à seção da viga. As vigas de 8 m em projetos são lançadas como vigas normais, ou seja, viga com altura no início do pavimento superior e em posição abaixo da laje. Porém, foram alteradas para vigas invertidas, pois fora notado que a construção dessa área seria por platibanda e com isso, a ocultação das vigas ofereceria melhor estética na edificação.

Para as lajes, o dimensionamento de armaduras foi livre, apenas a altura da laje estipulada. A princípio, as lajes foram os elementos que mais se aproximaram em questão de dimensionamento, apesar de armaduras diferentes ficarem próximas.

#### 4.1 Pilares P6, P12, P16 E B1

A seguir na Figura 44, segue o mapa de pilares.

Figura 44 - Mapa de locação de pilares.

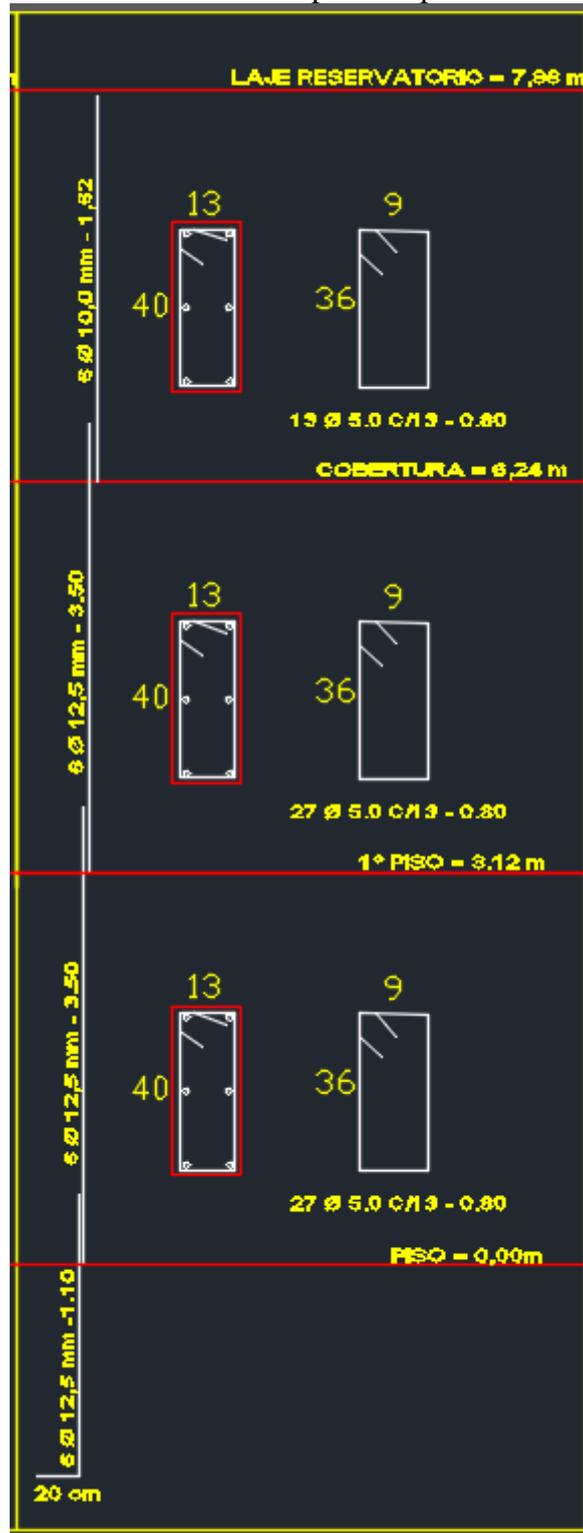


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

O pilar P6 analisado, apesar de uma mínima diferença de seção, tem similaridade com os pilares P7 e P10, e uma diferença de seção quanto ao pilar P9, pois todos os quatro pilares se estendem até o reservatório. O dimensionamento dos pilares exigidos pelo *software* foi de 15x40 cm nos pilares P7 e P10, já no pilar P6 a seção requerida para cumprimento de dimensionamento foi de 15x45 cm, como mostrado no detalhamento da Figura 45 efetuada em CYPECAD®, que é comparada com a Figura 46 do RADISTRUT®. Já no pilar P9, onde se esperava uma maior seção devido ao seu posicionamento em relação aos pilares próximos, a dimensão inicial foi preservada em 13x35 cm. A disposição das armaduras nos pilares ficaram da maneira 4Ø12,5 nas extremidades e 2Ø12,5 na face Y, com estribos de Ø6,3 a cada 15 cm, assim como representado na Figura 47.

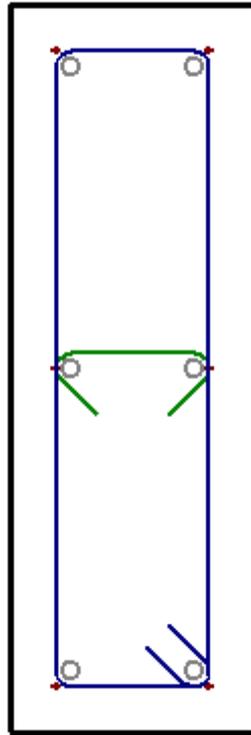


Figura 46 - Detalhamento do pilar P6 pelo RADISTRUT.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

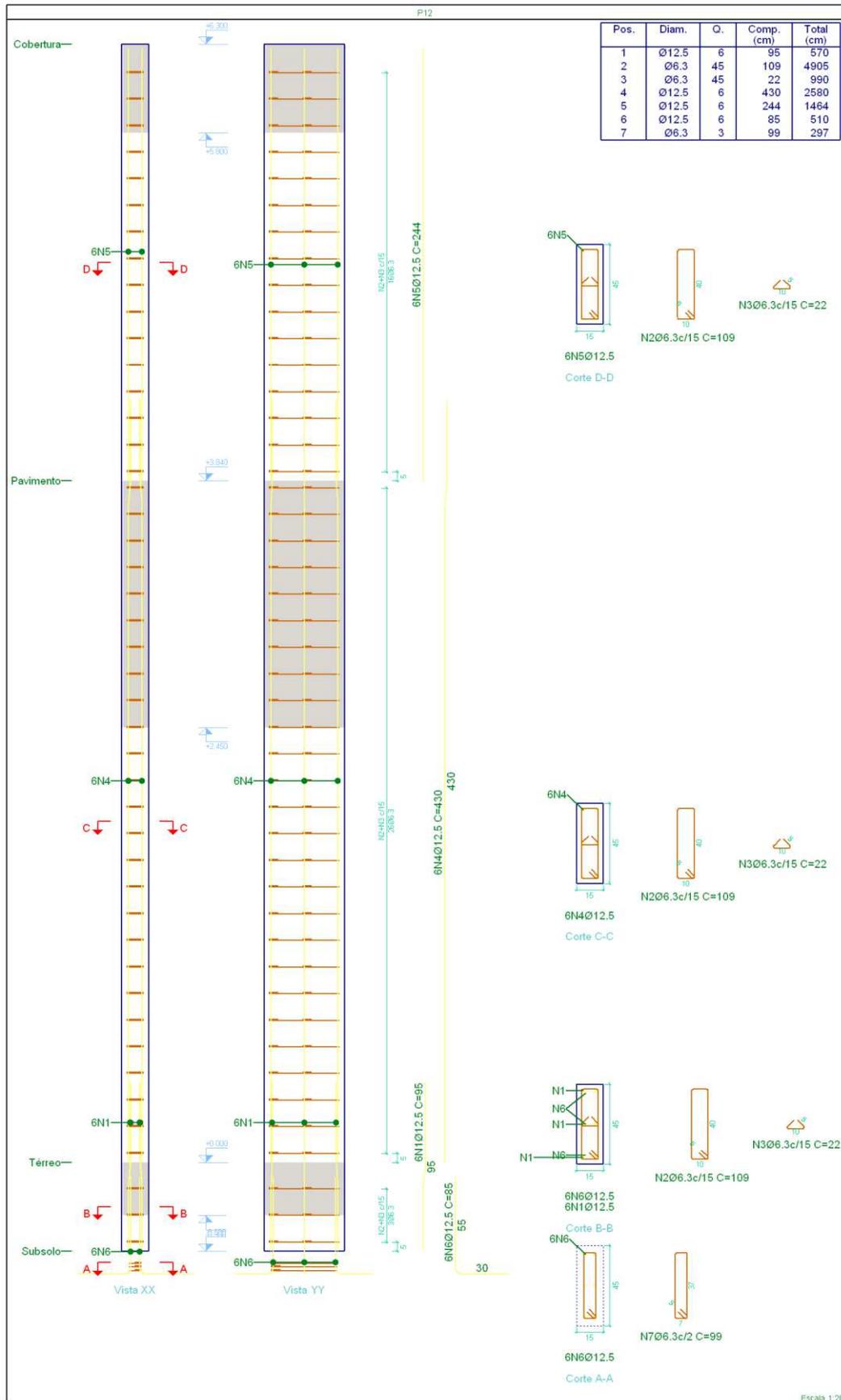
Figura 47 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P6.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

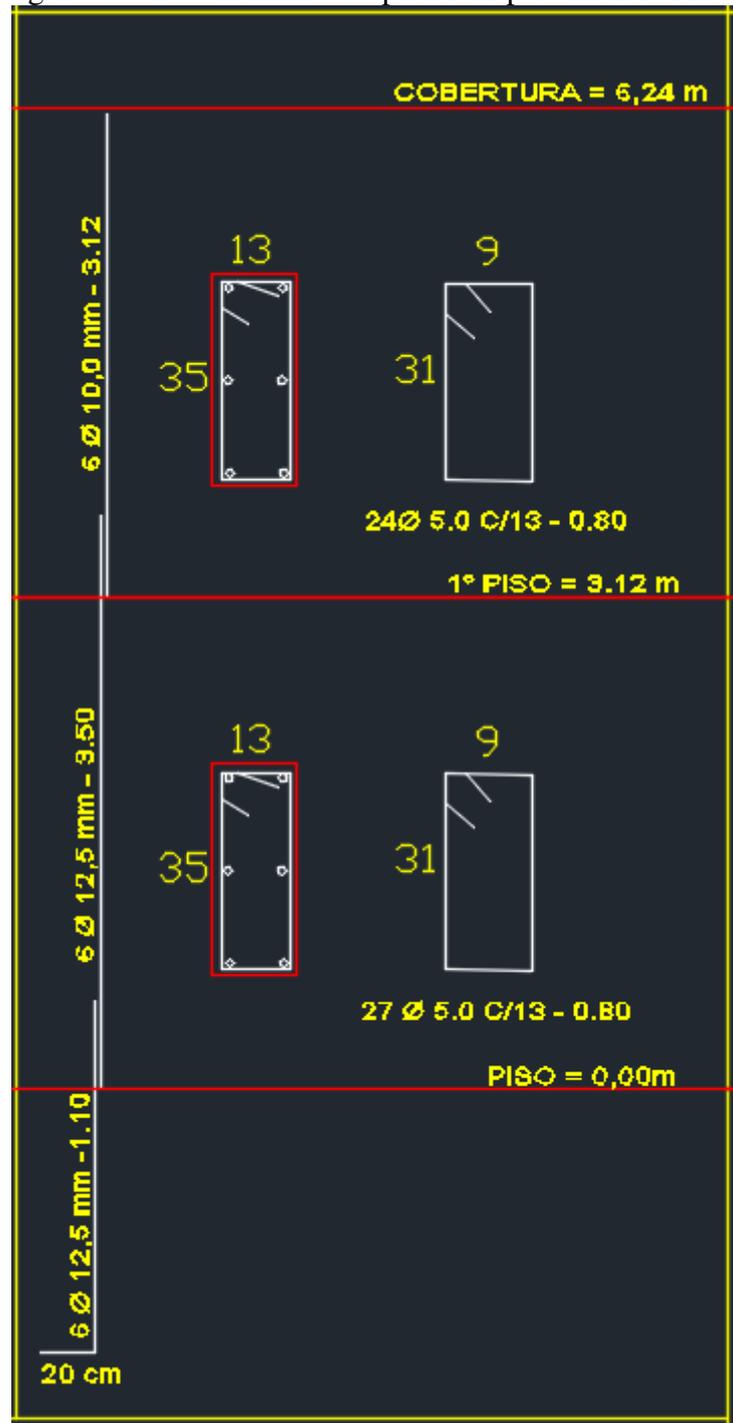
Analisando o pilar P12, que se inicia no baldrame e se encerra na cobertura, a princípio foi dimensionado com seções de 13x35 cm, e após cálculo obteve-se 15x45 cm. Em comparação à armaduras, que segue a mesma disposição em relação aos outros pilares, 4Ø12,5 nas extremidades e 2Ø12,5 na face em questão a sua orientação. O pilar está suportando cargas e a viga invertida, que foi alterada em função de melhor concepção de projeto, de seção 13x80 cm, ficaria muito exposta na estética da edificação, logo, o *software* demandou uma seção maior. As Figuras 48 e 49 comparam o pilar em questão nas duas ferramentas computacionais.

Figura 48 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P12.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

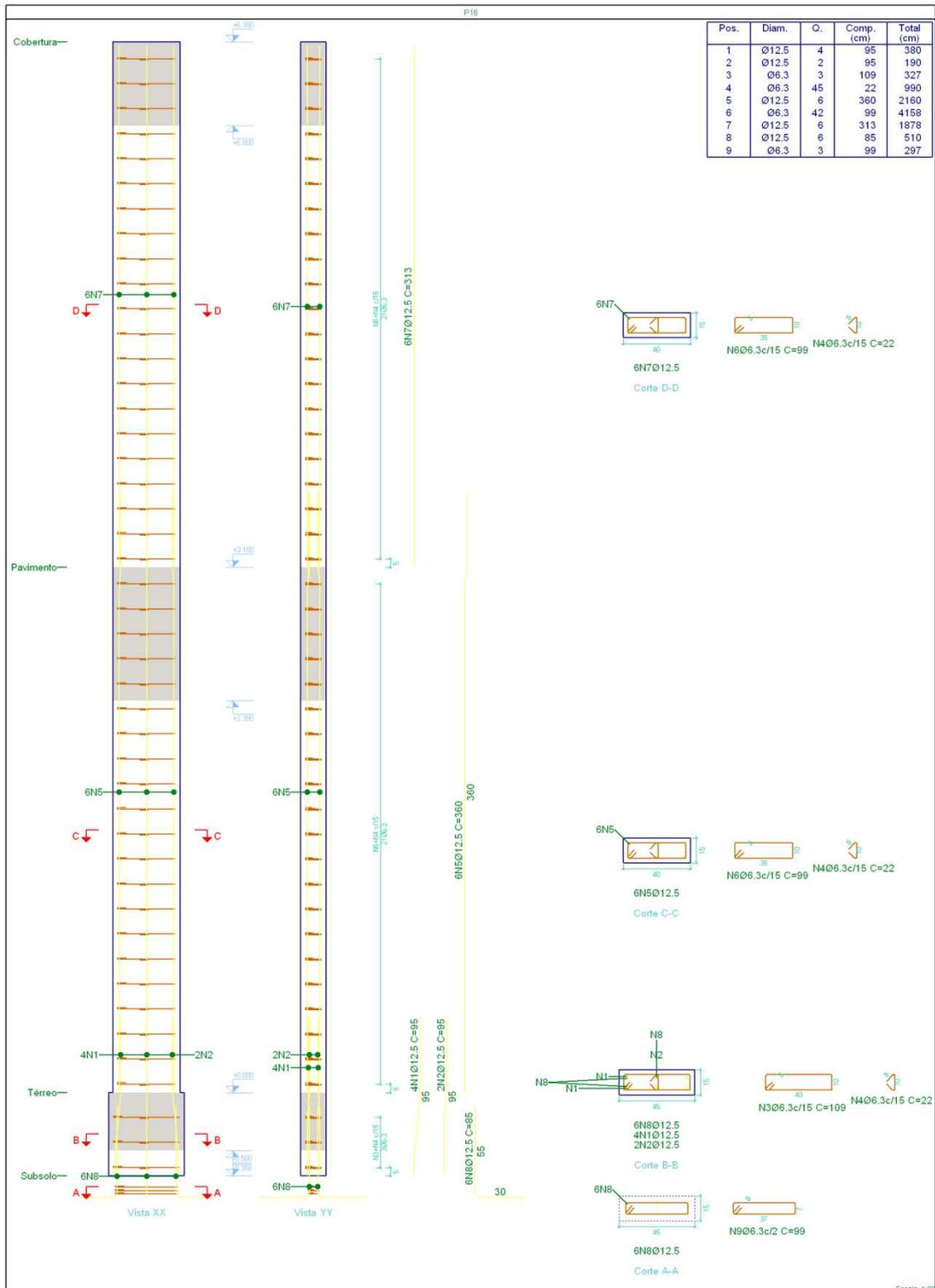
Figura 49 - Detalhamento do pilar P12 pelo RADISTRUT.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

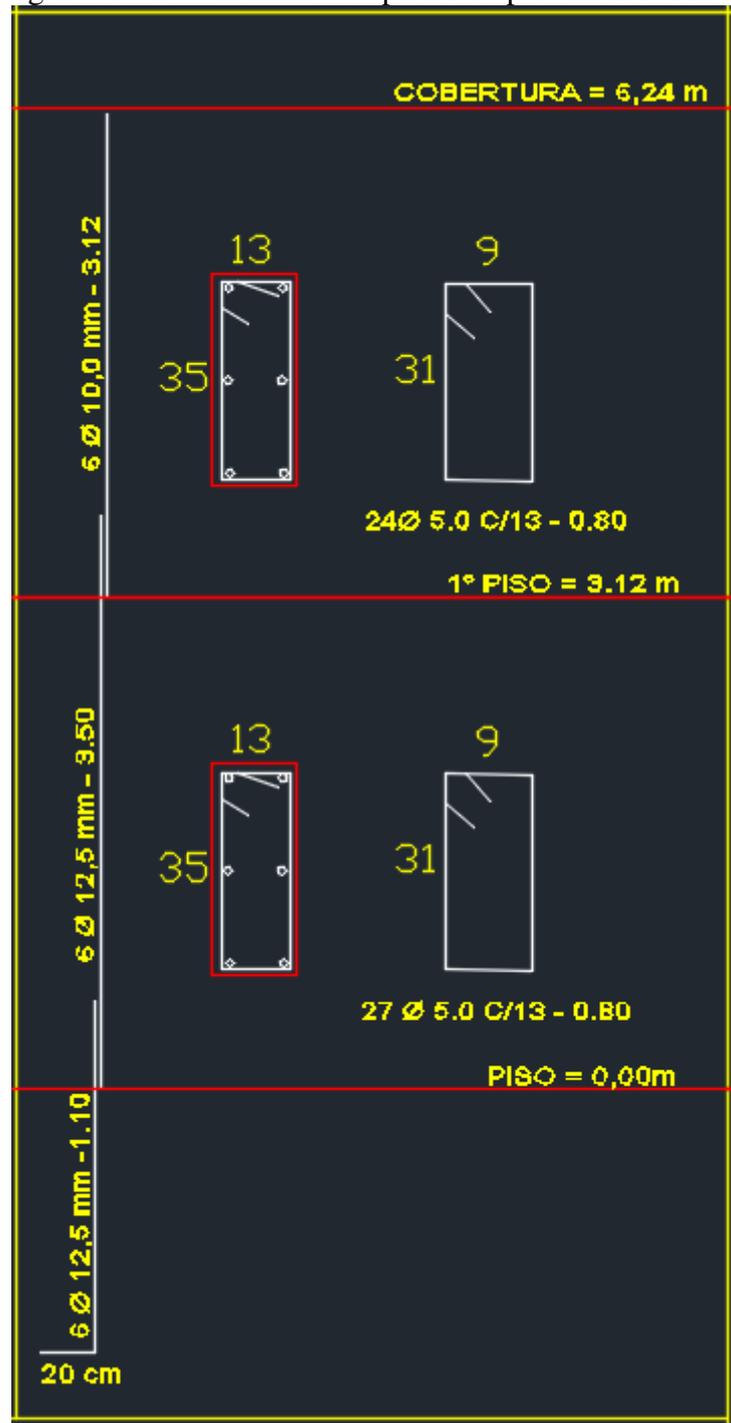
O pilar P16 é outro que foi muito exigido perante aos vãos das vigas e estética das mesmas. No piso do pavimento, a viga vence um vão de 6,70 m, e na cobertura sustenta uma viga em balanço. Sua seção final de cálculo ficou de 15x40 cm, com a mesma disposição de armaduras como nos demais pilares. A seguir, as Figuras 50 e 51, ilustram o detalhamento de ambos *softwares*.

Figura 50 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar P16.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

Figura 51 - Detalhamento do pilar P16 pelo RADISTRUT.

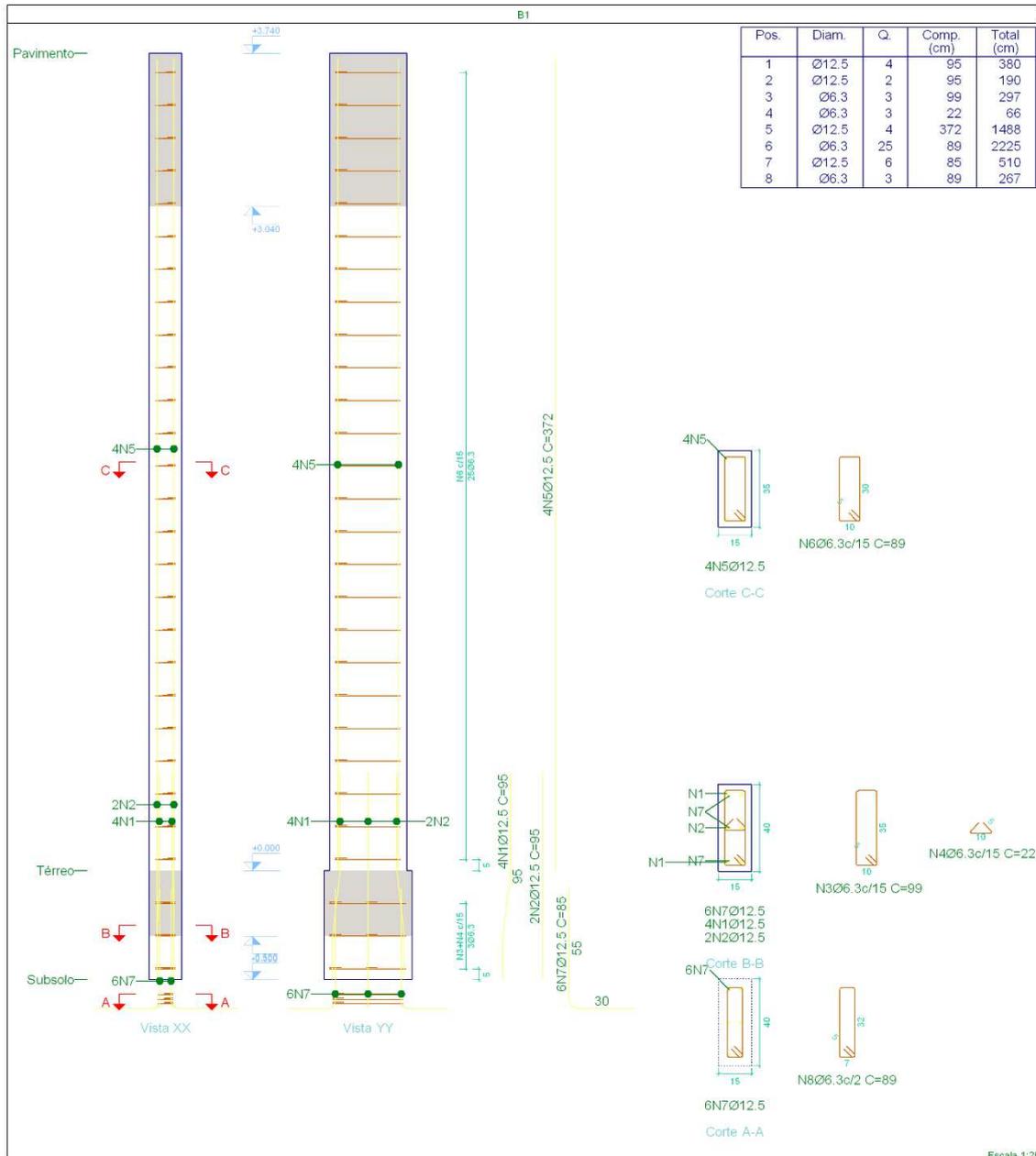


Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

O pilar B1, inicialmente, seria para representar uma broca morta, porém o CYPECAD® não dispõe dessa opção. Havia uma viga invertida vencendo um lance de aproximadamente 8,60 m, logo, elevou-se este pilar até o pavimento, dividindo a carga da viga sem interferir na estética (expondo o pilar). Quanto à sua seção, fora introduzida como todos os outros pilares, de 13x35 cm e no pós cálculo permaneceu a mesma área de seção. A

mesma disposição de armaduras,  $4\varnothing 12,5$  nas extremidades e  $2\varnothing 12,5$  na face longitudinal em questão a sua orientação. A seguir, a Figura 52 apresenta o detalhamento do pilar B1.

Figura 52 - Detalhamento de disposição de armaduras no pilar B1.

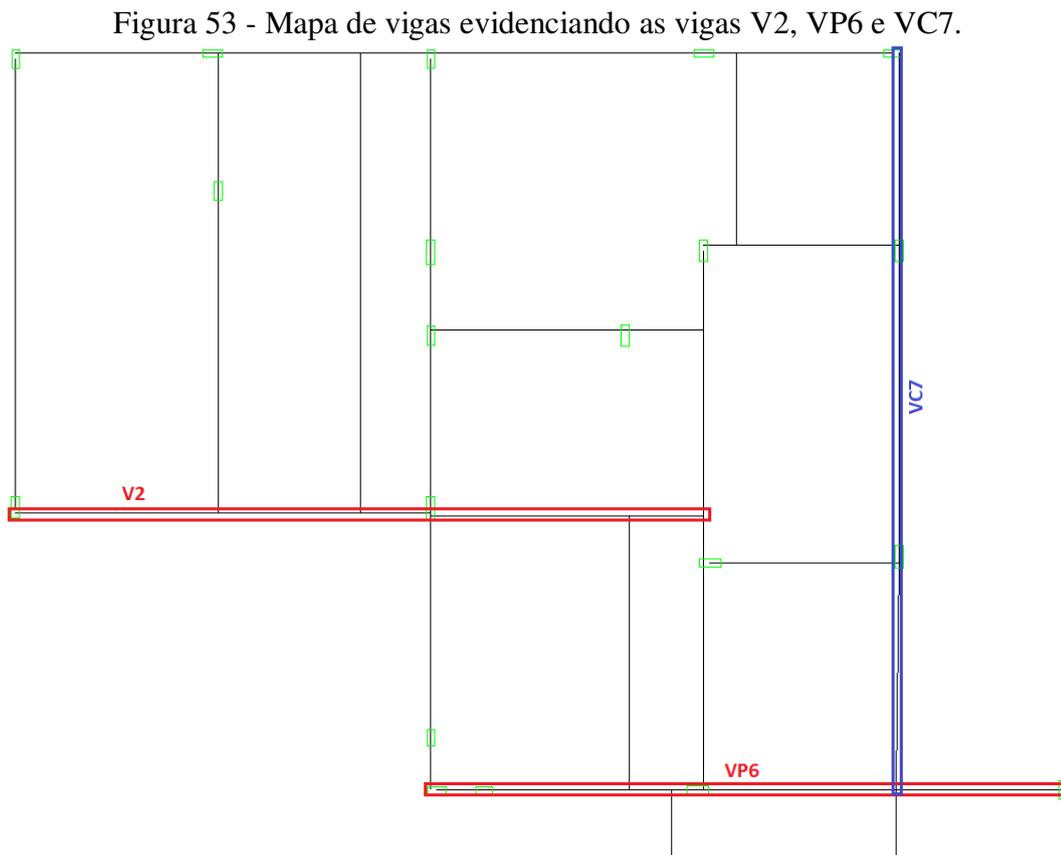


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

#### 4.2 Vigas V2, VP6 E VC7

Estas vigas foram escolhidas para comparativo pois apresentaram seções diferentes do estrutural recebido. Levando em conta as armaduras, o *software* calculou apenas as necessárias, não levando em consideração a quantidade de diâmetros diferentes em toda a

obra, que se uniformizado, facilita a execução da edificação e previne erros na montagem in loco. Como citado anteriormente, foi dada ao *software* a dimensão mínima de armaduras base positivas e negativas de Ø8mm e livre para as demais, todas as três vigas discutidas aqui possuem armadura de pele definidas pelo *software*. A seguir, na Figura 53, o mapa referenciando as vigas V2 e VP6 aparecem em vermelho localizadas nas formas do pavimento e VC7 de azul localizada na cobertura do pavimento.

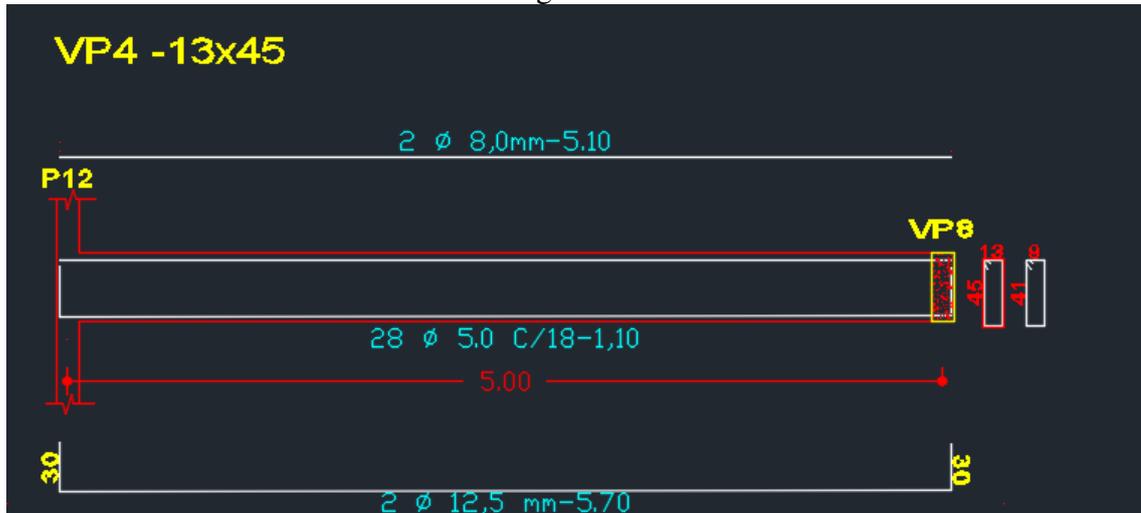


Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

A viga V2 no início, fora introduzida como uma viga normal alta retangular de 13x60 cm e, após o cálculo da estrutura, foi alterada para 13x80 cm em cumprimento de exigência do *software*. Logo, analisando o projeto arquitetônico e visualizando a platibanda, optou-se pela viga invertida de mesma seção para garantir estética na edificação, levando em consideração que o pé direito da estrutura é de 3 m, a perda de 80 cm não teria um caimento apropriado para uma área exposta como essa. Apesar de representar dimensões diferentes, além de uma excentricidade no pilar P12, uma extensão na viga sendo invertida e a outra extensão como viga alta retangular, o CYPECAD® detalhou as duas vigas juntas como



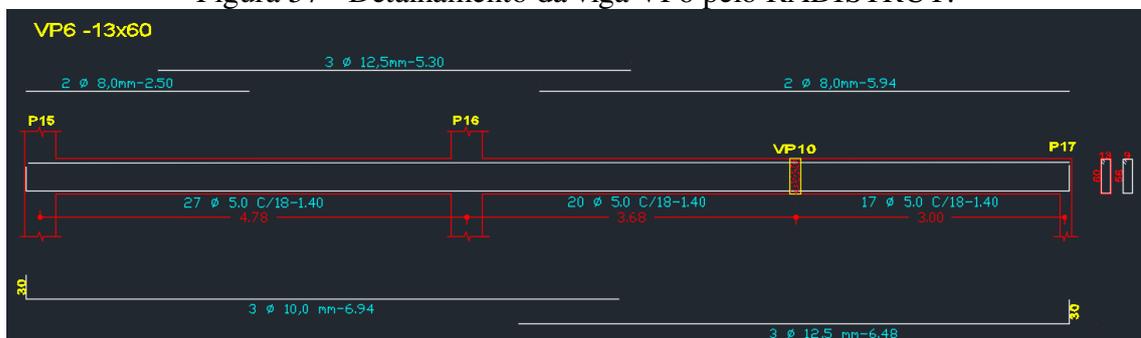
Figura 56 - Detalhamento da viga VP4 pelo RADISTRUT, sequência da viga apresentada na Figura 54.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

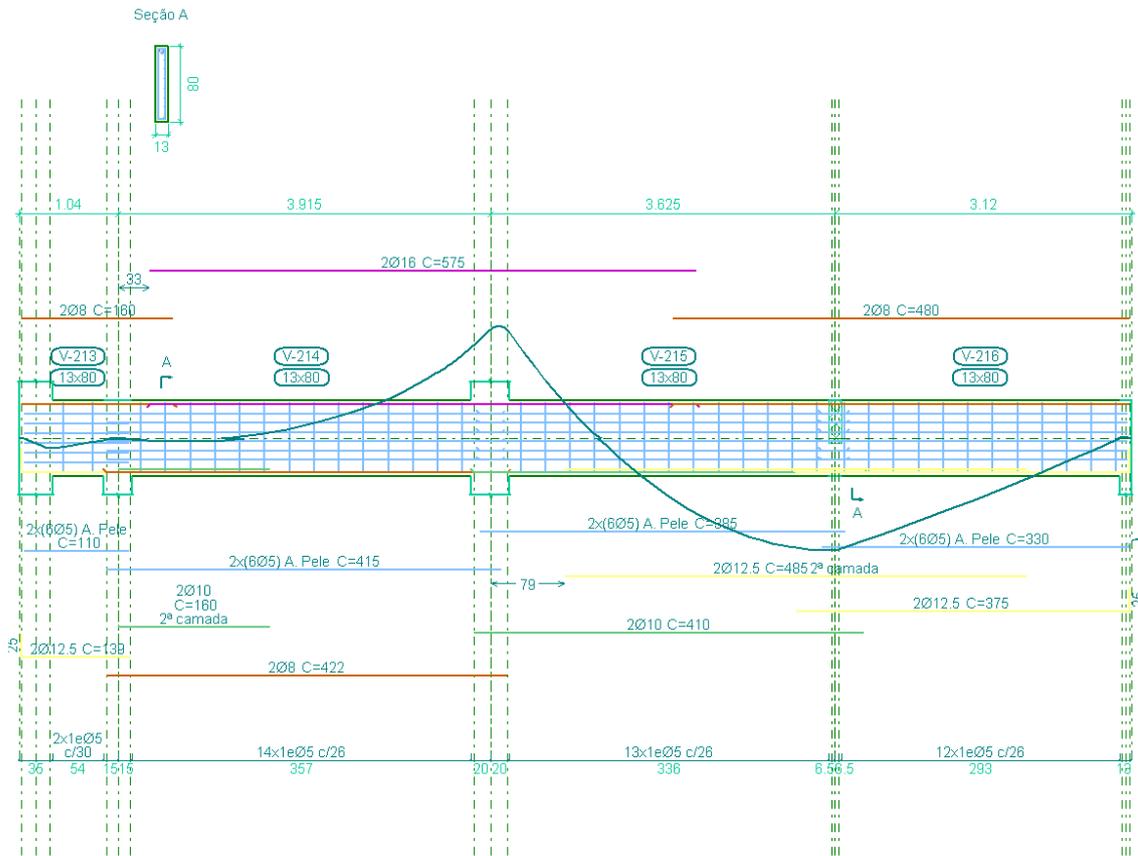
A viga VP6 detalhada abaixo nas Figuras 57 e 58, tem uma singularidade dos pilares de escada que foram introduzidos apenas para representar a sustentação do patamar. A dimensão longitudinal e os elementos presentes nessa viga demandaram uma seção diferente da introduzida, 13x60 cm para 13x80 cm, em função da garagem o vão se estendeu para aproximadamente 6,70 m. Nas vigas com dimensões maiores ou iguais a 60 cm, a norma geralmente solicita a introdução de armaduras de pele e no software temos vigas de 40 cm com armaduras de pele que pela norma é exigida quanto existe torção na viga e, como citado anteriormente, as armaduras dispostas pelo programa são de muitos diâmetros, o que não impede de o usuário editá-las dentro da demanda da viga, atendendo às normas.

Figura 57 - Detalhamento da viga VP6 pelo RADISTRUT.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

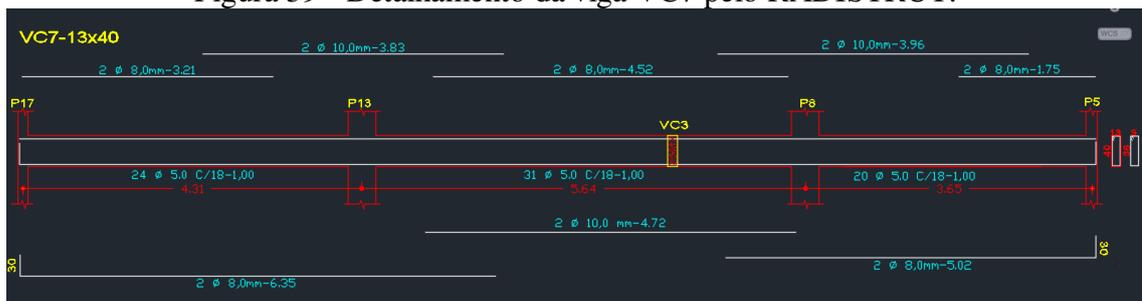
Figura 58 - Detalhamento da viga VP6 pelo CYPECAD.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

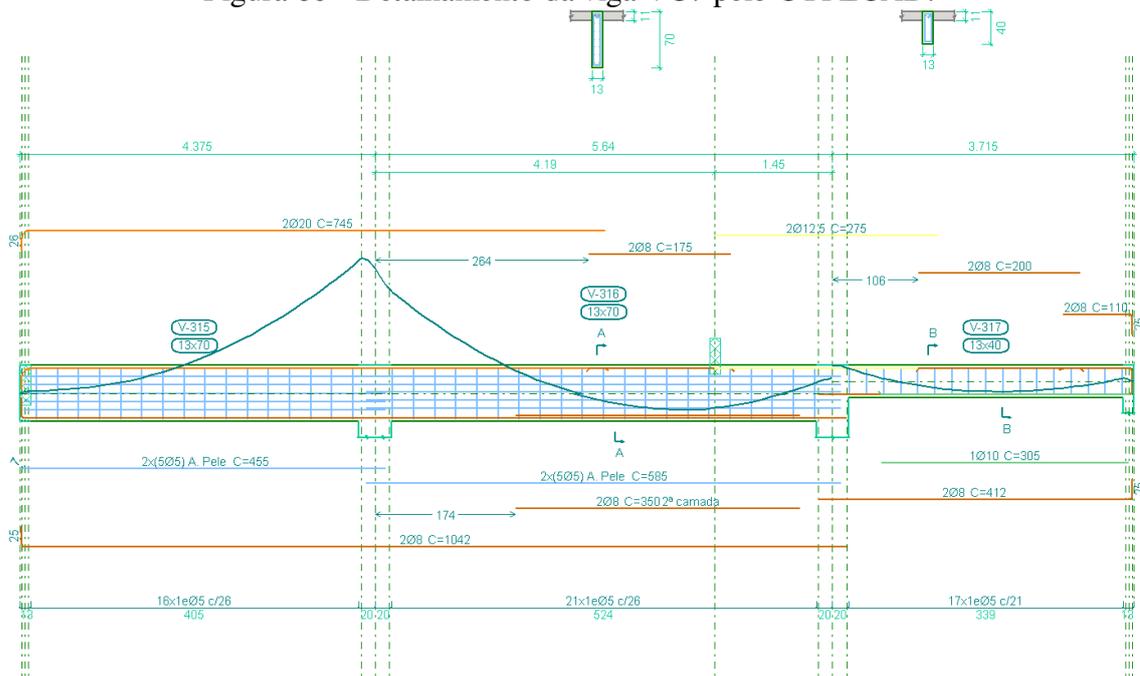
As vigas citadas acima, inclusive a viga VC7, a princípio de cálculo foram diagnosticadas com flecha ativa pelas dimensões introduzidas, exigindo novas seções. Aumentar somente a seção da viga em cheque não se resolve o problema na maioria das vezes, por isso, foram necessárias seções por toda a viga ou lances adjacentes. A VC7, introduzida com valores de seção de 13x40 cm, necessitou de edição e novas medidas de 13x70 cm, para resolver o problema de flecha ativa e consequentemente precisou de armaduras de pele. As Figuras 59 e 60 representam o detalhamento da viga VC7.

Figura 59 - Detalhamento da viga VC7 pelo RADISTRUT.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

Figura 60 - Detalhamento da viga VC7 pelo CYPECAD.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016)

### 4.3 Laje reservatório

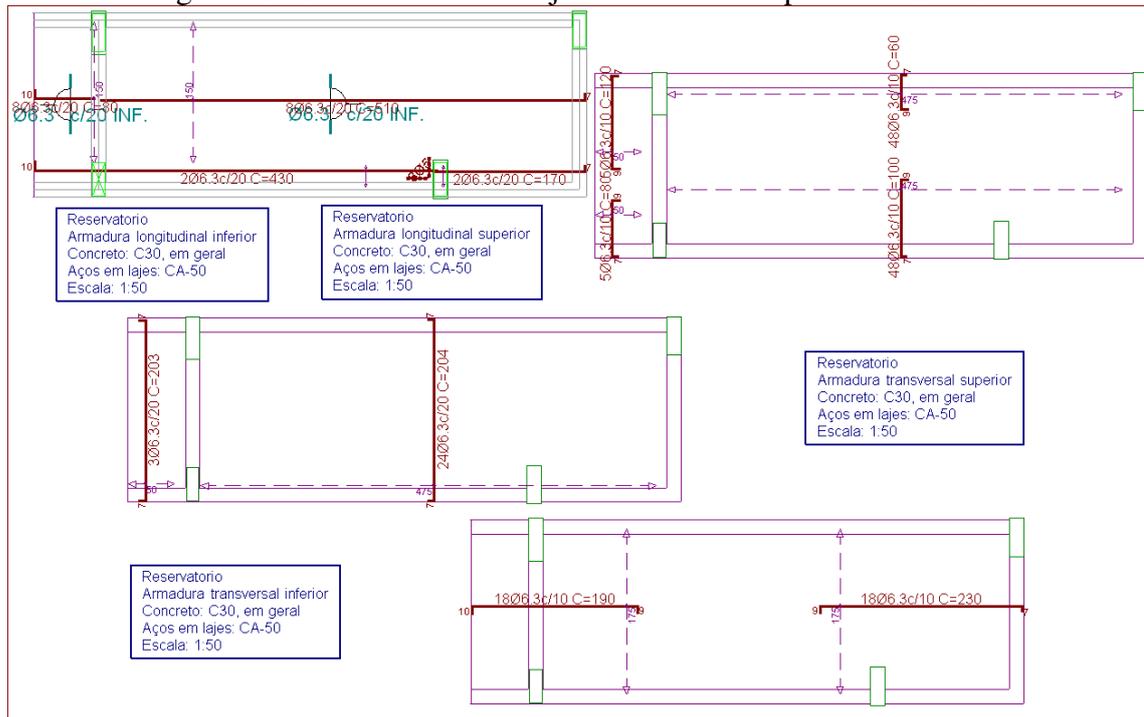
Em análise de lajes, tendo a laje do reservatório como uma das mais exigidas pela carga permanente de  $1 \text{ t/m}^2$ , serão posicionadas 2 caixas d'água protegidas por paredes de alvenaria de 2 m de altura. Entretanto, a área da laje não é grande, logo, as forças ficam bem dissipadas nos pilares e vigas. Segue as Figuras 61 e 62 para análise de armaduras.

Figura 61 - Detalhamento da laje do reservatório pelo RADISTRUT.



Fonte: Adaptado de AutoCAD (2016).

Figura 62 - Detalhamento da laje do reservatório pelo CYPECAD.



Fonte: Adaptado de CYPECAD (2016).

#### 4.4 Quantitativo de aço

Em termos de quantidade de aço comparado entre os softwares, podemos notar uma maior quantidade utilizada no CYPECAD equiparada com a utilizada no RADISTRUT, que pode ser considerada tanto pela concepção de projeto, pilares e vigas com seções maiores levaram a essa maior utilização de aço como demonstrado na Tabela 5. O *software* utilizado neste trabalho utilizou 1217kg de aço, ou seja 34% a mais que a ferramenta estrutural comparada.

Tabela 5 – Quantitativo de aço pelo CYPECAD (à esquerda) e RADISTRUT (à direita).

Total obra - Superfície total: 349.36 m<sup>2</sup>

TABELA DE CONSUMO DE FERRO TOTAL OBRA

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)	BITOLA(mm)	COMPR.(m)	CONSUMO+5%
LAJES	306.43	33.96	1833	5,0	2.269,00	367 kg
Vigas: fundo	39.73	19.34	1598	6,3	1759,00	453 kg
Forma lateral	240.49			8,0	1454,00	604 kg
Pilares (Sup. Formas)	98.49	5.11	1235	10,0	1740,00	1.128 kg
Escadas	8.94	1.01	112	12,5	245,00	248 kg
				16,0	12,00	20 kg
				20,0	76,00	197 kg
Total	694.08	59.42	4778	TELA Ø92 (2,45x6,0)- 25 PAINÉIS		544 Kg (-5%)
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.987	0.170	13.68	TOTAL+5%(Kg)		3.561 Kg

Fonte: Adaptado (2016).

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados descritos no capítulo 5, os seguintes pontos podem ser concluídos:

- O comparativo estrutural realizado entre os dados obtidos pelo *software* CYPECAD® e os recebidos pelo auxílio do *software* RADISTRUT® demonstraram valores de mesma grandeza e aproximados. Portanto, considera-se o CYPECAD® um *software* coerente com os demais.
- As diferenças foram relativamente pequenas no quesito de laje armada. Já no quesito pilar e vigas, as maiores discrepâncias foram quanto à verificação de cargas impostas a eles, principalmente a disposição de armaduras nas vigas que, com edição e análise, podem ser melhoradas para facilitar a execução no campo da obra.
- A quantidade de aço utilizada foi maior devido vigas e lajes estarem mais armadas em comparadas com o projeto calculado no RADISTRUT, pois nota-se tanto diâmetros variados na armação das vigas quanto armaduras de pele, o que levou essa quantidade maior de aço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

JUNIOR, A. M. de S.; MAIA, C. C. L. L.; CORREIO, P. R. P. A.; Compatibilização de projeto arquitetônico, estrutural e sanitário: Uma abordagem teórica e estudo de caso. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria** V. 14, N. 2 (2014): Março, p. 3236 – 3244

KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. PINI, São Paulo, 2007. 1ª edição, 632p.

MORAES, Ademir José. O Método dos Elementos Finitos e a Engenharia Civil. **Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - Edição nº 10 Vol. 01/ 2015 dezembro/2015**.