

CAPÍTULO 2

PROJETO ESTRUTURAL AUTOMATIZADO DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO

ANDRADE, Rodrigo do Val

ALMEIDA, Raphael Degering

RODRIGUES, Glauco José de Oliveira

RESUMO: Este trabalho foi elaborado com o objetivo de desenvolver um projeto estrutural em concreto armado com base em uma planta arquitetônica de dois pavimentos utilizando o *software* Cypecad. As etapas foram realizadas em conformidade com as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sobre os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) visando à prática construtiva, otimização dos gastos, segurança e a durabilidade para a edificação. Ao término, concluiu-se que é possível automatizar e executar os cálculos em pouco tempo, facilitando a realização das correções e alterações durante o avanço do projeto, dando maior precisão e confiança ao Profissional.

Palavras-chave: Análise estrutural; Estrutura; Cypecad; Concreto Armado.

ABSTRACT: This work was elaborated with the objective of developing a structural design in reinforced concrete based on a two floor architectural plan using Cypecad software. The steps are carried out in accordance with the ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) standards on structural elements (pillars, beams and slabs) aiming at constructive practice, optimization of expenses, safety and durability for building. At the end, it is concluded that it is possible to automate and execute the calculations in a short time, facilitating the accomplishment of corrections and changes during the project progress, giving greater precision and confidence to the Professional.

Keywords: Structural analysis; Structural Design; Cypecad; Reinforced Concrete.

1. Introdução

O presente texto intenta uma reflexão sobre como a construção civil trabalha nos dias de hoje e o que as tecnologias já desenvolvidas e em fase de desenvolvimento podem melhorar a área. Ao longo da história, obras de engenharia vêm se tornando cada vez maiores e mais complexas, necessitando um nível de qualidade e precisão cada vez maior para obtenção dos resultados esperados.

Assim como em toda e qualquer ciência é possível notar que os avanços tecnológicos agregam novas possibilidades de aprimoramento do trabalho proposto, e nos ramos da engenharia não seria diferente.

Ao longo dos anos nota-se que a criação e o aperfeiçoamento de softwares voltados para setor de projetos, tais como o AutoCAD, o Cypecad, o CAD/TQS, entre outros, possibilitaram o desenvolvimento de projetos de estruturas de pequeno ou grande porte, com custo de tempo menor, comparativamente aos tradicionais métodos analíticos manuais. Devido sua flexibilidade e facilidade em realizar alterações durante as etapas de elaboração do modelo, o uso das ferramentas computacionais contribui para maior precisão, economia de tempo e flexibilidade além de possibilitar correções e outras alterações no projeto.

A informatização das atividades nos setores da Engenharia pode ser considerada uma vantagem no mercado de trabalho. Dessa forma, este trabalho científico visa desenvolver os cálculos estruturais de uma edificação residencial unifamiliar em concreto armado utilizando como ambiente computacional o *software* Cypecad, mostrando assim a aplicação dos conhecimentos teóricos adquiridos durante a formação acadêmica em um meio totalmente novo. Conforme a Multiplus (2011, p. xvii):

O projeto de uma estrutura é uma tarefa de grande complexibilidade e responsabilidade, pois envolve várias etapas bastante trabalhosas como análise estrutural, dimensionamento e verificação em conformidade com as normas brasileiras, elaboração de desenhos claros para a execução e levantamento de materiais.

O ato de projetar uma estrutura trata-se de um estudo fundamental visando à otimização dos gastos, com segurança e a durabilidade para a edificação. Portanto, para aumentar a eficiência se fez necessário automatizar os projetos estruturais trazendo a redução do tempo planejado para o trabalho, precisão nos cálculos e clareza na realização de correções, além da facilidade da troca de informações através do envio de desenhos por e-mail para os clientes, plotadoras e até mesmo para arquivamento em dispositivos de mídia, tornando o ato de automatizar essencial para o cotidiano dos Engenheiros. Inicialmente será apresentado o projeto da edificação com as devidas análises das características inerentes a mesma e a partir deste, será feito o lançamento da estrutura (concomitante com a modelagem computacional) e cálculo dos elementos estruturais.

2. Justificativa

O ensino-aprendizagem da ferramenta computacional Cypecad mostra aos profissionais de Engenharia voltados ao ramo de projetos de estruturas que, quando o trabalho é informatizado e a ferramenta de trabalho é bem explorada, gera economia de tempo sem perder a qualidade.

Para isso, é preciso que o “Engenheiro Calculista” tenha o domínio necessário do conhecimento teórico para solucionar os possíveis problemas que venham a ocorrer durante a elaboração do projeto, no qual fará a análise dos resultados obtidos e as modificarão de maneira interativa.

Com isso, o objetivo deste estudo foi desenvolver um projeto completo de uma estrutura em concreto armado de uma edificação residencial com dois pavimentos, bem como a definição dos critérios para o desenvolvimento do projeto que servirão como dados para a utilização do software. Para tanto, pretende-se utilizar as potencialidades da ferramenta computacional Cypecad (2019), permitindo mostrar de forma simples e organizada em um novo ambiente, o que foi aprendido durante a formação acadêmica nas disciplinas de Estruturas de Concreto Armado.

3. Metodologia

Este trabalho consiste em uma pesquisa bibliográfica com estudo de caso, pois se trata de um estudo com aplicação de teorias a um projeto estrutural a ser desenvolvido. Foi utilizado o manual técnico da Empresa Multiplus Computação Gráfica para o uso do *software* Cypecad (2019), para os livros de Estruturas de Concreto Armado e Aplicabilidade da Informática a Engenharia, foram usados como referência os autores como o professor Libânio Pinheiro (2007) e do Eng. Alio Ernesto Kimura (2017), e as Normas Técnicas definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Inicialmente será apresentada a planta do projeto arquitetônico, servindo como objeto de estudo para mostrar a utilização do *software*, identificando na edificação, as ações verticais provenientes de ações permanentes (peso próprio da estrutura) e as cargas atuantes na estrutura. Também será utilizada a pesquisa de campo por meio do *software* Cypecad 2019, em que será gerado um modelo estrutural em ambiente 3D, que através de processamentos numéricos, será possível realizar as análises da estrutura.

3.1 Modelo arquitetônico

Este presente trabalho tem como base uma Edificação Residencial Unifamiliar com 02 (dois) pavimentos em concreto armado apresentados nas figuras 1 e 2 com a finalidade em demarcar onde serão colocados os elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) da edificação. O projeto arquitetônico feito no AutoCAD (2019) e Sketchup (2017) de autoria própria não serão abordados no artigo.

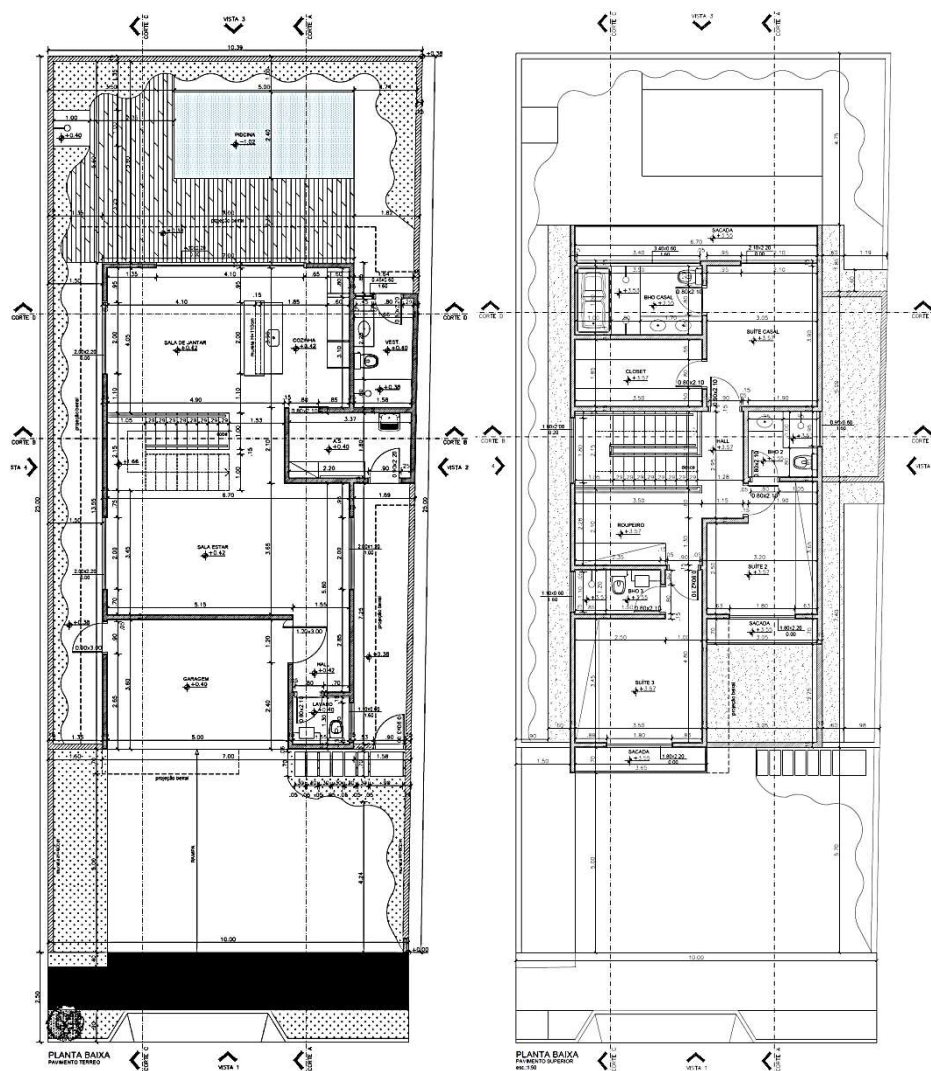


Figura 1 – Modelo Arquitetônico Fonte: Os autores, 2019.



Figura 2 - Vista diagonal da edificação em Sketchup Fonte: Os autores, 2019.

3.2 Introdução automática dos dados no Cypecad

Utiliza-se a introdução automática Drawing Exchange Format (DXF) e Drawing (DWG) onde serão inseridos os dados dos pavimentos, subsolos (quando houver), altura do pé direito, cargas permanentes como impermeabilização, revestimentos, entre outros e sobrecargas de utilização e fundação para facilitar a edição e organização do projeto.

	Altura (m)	SCU (kN/m²)	CP (kN/m²)
☐ Cobertura casa das máquinas (T)	ht 3.50	1.0	1.5
☐ L. Casa de Máquinas (M)	hm 1.00	10.0	1.0
Cobertura (C)		1	0.5
☒ Pisos (P) 2	hp 3.15	2	0.5
Térreo (B)	hb 0.8	0	0
☐ Subsolos (S) 1	hs 2.50	4.0	1.5

Figura 3 – Dados da edificação Fonte: Software Cypecad, 2019.

Piso	Altura	Início de grupo
Cobertura	3.15	☒
Teto do térreo	3.15	☒
Cintamento	0.80	☒

Cota do nível da fundação (C) -0.80 m

Figura 4 – Dados do piso/grupo Fonte: Software Cypecad, 2019.

3.3 Materiais utilizados (concreto e aço)

Toda a edificação será projetada em concreto armado, portanto, determina-se o uso da Resistência Característica do concreto (fck) em 30MPa para o piso (lajes, vigas e escadas) e pilares. Para todas as barras de

aço longitudinais (positivas e negativas) e transversais (estribos) adota-se o aço CA-50, ou seja, com a Resistência Característica do aço (f_{yk}) em 500MPa conforme a figura a seguir:

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	
Barra	CA-50
Parafusos	ISO 898.C4.6

Figura 5 – Especificações do Concreto e Aço Fonte: *Software Cypecad*, 2019.

3.4 Lançamento dos pilares

Ao lançar os pilares, será necessário ajustar à altura dos pilares onde é possível identificar três características conforme as figuras 6, 7 e 8. Inicialmente adotam-se os valores mínimos de largura nas direções X e Y e caso o pilar não aguarde o solicitado, será possível fazer modificações em sua área de sua seção bem como sua armadura.

	R	Largura X (cm)	Largura Y (cm)
cobertura		12	30

Grupo final: cobertura
Grupo inicial: teto do térreo
Referência: P9
Ângulo: 0.0 graus
☒ Sem vinculação exterior
☐ Com vinculação exterior

Figura 6 – Pilar de transição que tem início no grupo Teto do Térreo com término na cobertura.
Fonte: *Software Cypecad*, 2019.

	R	Largura X (cm)	Largura Y (cm)
teto do térreo		30	12
cintamento		30	12

Grupo final: teto do térreo
Grupo inicial: fundação
Referência: P15
Ângulo: 0.0 graus
☐ Sem vinculação exterior
☒ Com vinculação exterior
Desnível de apoio: 0.00 m
Altura de apoio: 0.00 m

Figura 7 – Pilar que tem início na fundação e é interrompido no grupo Teto do Térreo.
Fonte: *Software Cypecad*, 2019.

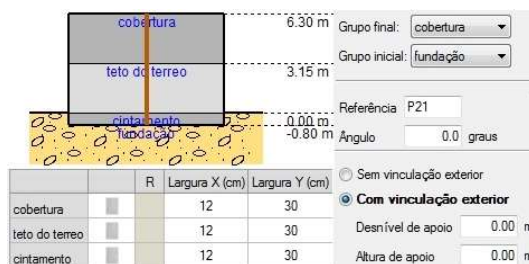


Figura 8 – Pilar de ligação entre a fundação e a cobertura.
Fonte: Software Cypecad, 2019.

3.5 Lançamento das vigas

Será realizado o lançamento para cada pavimento (cintamento, teto do térreo e cobertura) adotando as medidas mínimas de 12x30cm e assim como nos pilares, será possível alterar a área de sua seção bem como a armação caso a viga não suporte as cargas solicitadas.

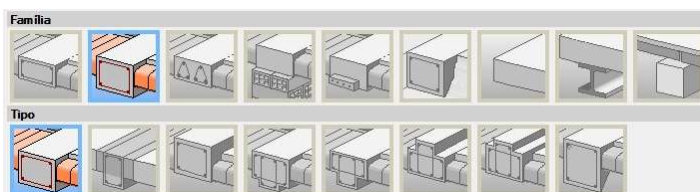


Figura 9 – Modelos de vigas. Fonte: Software Cypecad, 2019.

Nota-se a existência de diversos modelos de vigas separadas entre “Família” e “Tipo”. Em família, têm-se as vigas rasas, altas, treliças entre outros e para os tipos, tem-se viga alta retangular, viga invertida, viga “T” e outros mais.

Para este projeto, serão aplicadas inicialmente as vigas altas do tipo retangular, conforme abaixo:

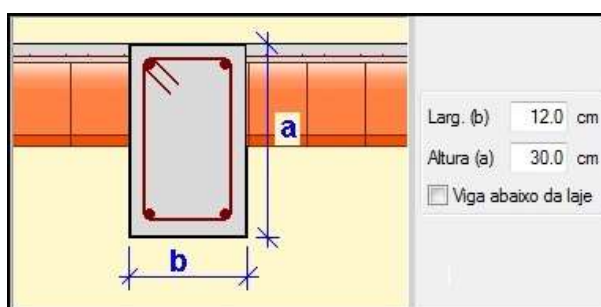


Figura 10 – Pré-dimensionamento das vigas. Fonte: Software Cypecad, 2019.

No nível do Cintamento, as vigas serão posicionadas abaixo das paredes, a fim de evitar que o solo ceda devido ao carregamento gerado pela alvenaria, visto que o piso será feito de camada armada sem ligações com as vigas. Para os pavimentos superiores, as vigas serão posicionadas de acordo com a estética, ou seja, em cima das alvenarias para evitar as aparências no pavimento abaixo, alinhando com a alvenaria do piso atual para evitar o carregamento direto na laje, visando o comprimento dos vãos e dimensões dos planos de lajes.

3.6 Lançamento das Lajes

Para este projeto adotou-se uma laje de camada armada no primeiro pavimento (cintamento) cujo carregamento será aplicado a um solo compactado. No segundo e terceiro pavimento (teto do térreo e cobertura, respectivamente), optou-se, onde tem balanço, utilizar as lajes maciças e; nas demais, pré-moldadas tornando mais rápida a execução e diminuindo os custos da obra.

Estarão presentes as lajes pré-moldadas (de vigotas) nos pavimentos superiores ao cintamento onde será preciso o uso de um catálogo, no qual os fornecedores dispõem em seus sites (este projeto fez uso o da Empresa Engemolde) onde foi possível determinar o melhor tipo de laje para esta edificação, a LT10, atendendo a um vão de até 4,10m.

TIPO	BI-APOIADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g)^(1))							APOIADA / ENGASTADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g)^(1))							BI-ENGASTADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g)^(1))						
	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0
LT 10 (7+3)	4,30	4,10	4,01	3,67	3,18	2,68	2,41	4,92	4,67	4,56	3,95	3,41	2,85	2,54	5,37	5,09	4,86	4,49	3,85	3,21	2,66
LT 11 (7+4)	4,56	4,37	4,28	4,04	3,50	2,95	2,65	5,18	4,95	4,84	4,36	3,76	3,14	2,81	5,55	5,30	5,19	4,61	3,97	3,30	2,94
LT 11 (8+3)	4,78	4,57	4,47	4,19	3,64	3,06	2,75	5,40	5,15	5,04	4,52	3,90	3,26	2,91	5,79	5,51	5,39	4,79	4,12	3,43	3,06
LT 12 (8+4)	5,04	4,84	4,75	4,58	3,97	3,35	3,01	5,69	5,44	5,34	4,95	4,27	3,58	3,20	6,00	5,83	5,71	5,26	4,53	3,77	3,36
LT 16 (12+4)	6,02	6,01	6,00	5,85	5,30	4,47	4,01	6,76	6,52	6,41	6,21	5,75	4,82	4,31	7,26	7,00	6,88	6,66	6,00	5,12	4,58
LT 20 (16+4)	7,17	6,95	6,85	6,67	6,28	5,59	5,02	8,02	7,76	7,65	7,44	6,88	6,00	5,43	8,60	8,33	8,21	7,98	7,36	6,16	5,78
LT 25 (20+5)	8,45	8,24	8,14	7,95	7,70	6,66	6,00	9,40	9,15	9,04	8,83	8,54	7,27	6,52	10,00	9,87	9,74	9,51	9,20	7,78	6,97

Figura 11 – Vãos máximos para lajes trelaçadas. Fonte: Empresa Engemolde

Para parâmetro inicial das lajes maciças, o pré-dimensionamento será considerado de 12cm (figura 42) a pedido da planta arquitetônica.

☐ Lajes de vigotas
☐ Placas alveolares
☐ Lajes mistas
☐ Lajes nervuradas
☒ **Lajes maciças**
☐ Lajes de fundação
☐ Pendente de definição



Altura: 12,0 cm

Direção da armadura:

☒ Paralelo a uma viga

☐ Dois pontos de passagem

Figura 12 – Pré-dimensionamento da laje maciça. Fonte: Software Cypecad, 2019.

3.7 Escadas

No Cypecad, há opções para definir o núcleo da escada (figura 13) e seu tramo (figura 14), sendo a primeira, para definir as características geométricas e seus carregamentos, enquanto a segunda indicará as características estruturais da escada (exemplos: altura da laje, degraus iniciais, degraus em patamares, definição dos apoios dos patamares).

Obedecendo aos critérios de dimensionamento da escada segundo a ABNT NBR-9050 (2015) onde a base dos pisos (p) e altura dos espelhos (e) deverá atender a formula “ $p + 2.e$ ”, definiu-se 18 pisos com 0,29m de largura, 1,00m de comprimento e 0,175m de espelho sendo construída de concreto armado.

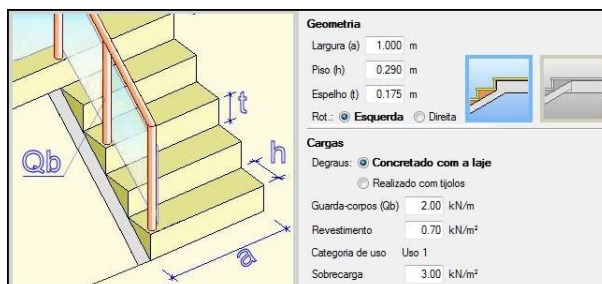


Figura 13 – Dados do núcleo da escada

Fonte: Software Cypecad, 2019.

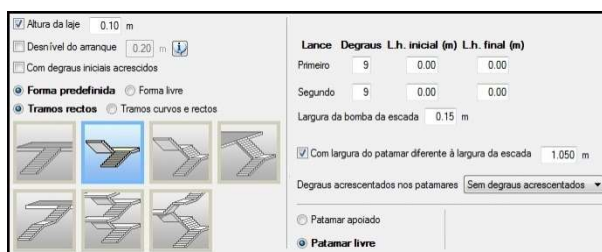


Figura 14 – Tipologia da escada.

Fonte: Software Cypecad, 2019.

3.8 Carregamento Estrutural

Foram introduzidas inicialmente as cargas uniformemente distribuídas (SCU e CP) nas lajes dos pavimentos. Portanto, restam introduzir o carregamento que não corresponde aos anteriores, isto é, das alvenarias lançadas diretamente nas vigas ou nas lajes, o reservatório superior (caixa d'água) e a(s) banheira(s).

Para o carregamento linear, serão levados em consideração a altura do pé direito (h) ao obedecer à localização da alvenaria, a espessura (e) da parede (tijolo + reboco) e o peso específico (γ) do tijolo resultando na fórmula $Q_{alv} = e \cdot h \cdot \gamma$. Adotou-se 0,15m para a espessura de todas as paredes, considerando o tijolo com 0,12m de largura e o reboco sendo 0,015m para cada lado da alvenaria. Em toda a edificação será utilizado o tijolo furado, logo se adotou o valor de 13kN/m³ seguindo a recomendação da ABNT NBR 6120. Por último, a variável será a altura da alvenaria (h) que dependerá de sua locação, definidos em carregamentos de 5,56kN/m(1) e 5,94kN/m(2) conforme a figura 15.

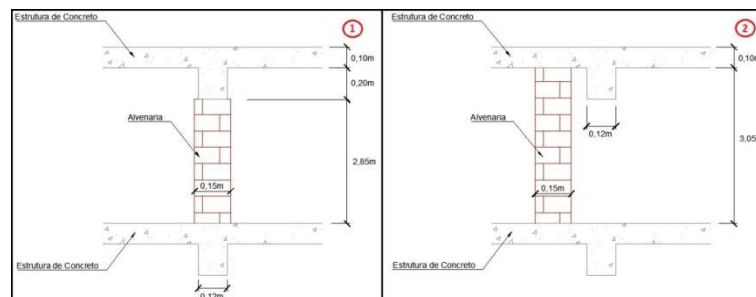


Figura 15 – Tipologia da escada. Fonte: Os autores, 2019.

4. Otimização dos Resultados

Após o processamento do resultado foi gerado o modelo finalizado exemplificado na figura 16, onde precisa-se primeiramente identificar os elementos estruturais que não passaram no pré-dimensionamento (pilares, vigas e Lajes) e o programa sinaliza essa informação através de um relatório inicial.

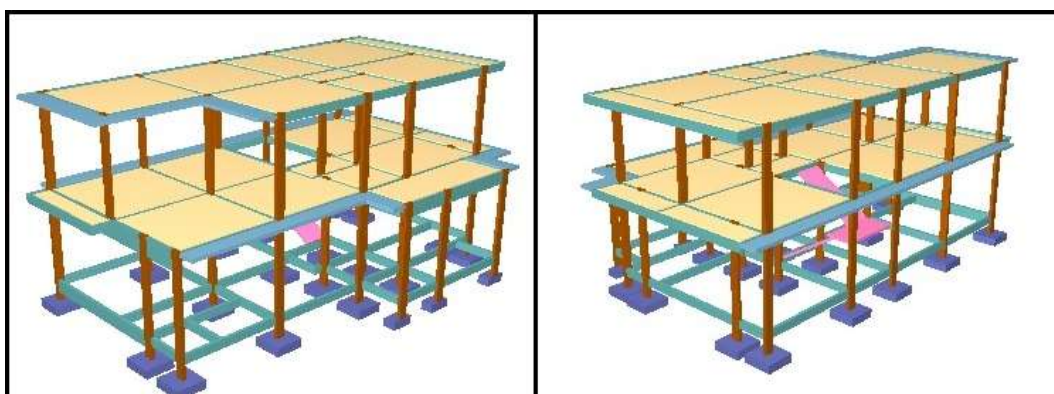


Figura 16 – Vista diagonal do modelo 3D Fonte: Software Cypecad, 2019.

Para exemplificar (figura 17 e 18), será utilizado o pilar P20 cujo pré-dimensionamento foi adotado 30x12cm para a realização dos ajustes nos pilares onde há duas formas de modificação: aumentando sua seção transversal e/ou alterando sua armadura sem deixar de lado os espaçamentos dentro da seção.

Edição da armadura													
		Dimensão		Armadura longitudinal						Armadura transversal			
		X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X		Face Y		Estribos	Espacamento	As/Ac (%)	
cobertura		6.3 m	30	12	4	Ø12.5	0	--	0	✓	Ø6.3	12	1.4
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Ext. Superior	✓	✓	20.0	75.0	85.3	1.4 PP...	Q,N,M	114.3	8.3	-8.2	5.2	1.3
	Ext. Inferior	✓	✓	26.1	85.3	85.3	1.4 PP...	Q,N,M	118.0	-8.5	14.6	5.2	1.3
Edição da armadura													
teto do telhado		3.15 m	30	12	4	Ø16	4	Ø16	0	--	Ø6.3	12	4.5
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Ext. Superior	✗	✗	16.5	106.5	✗	PP+CP	Disp....	168.3	-9.0	-9.5	2.5	0.0
	Ext. Superior	✗	✗	16.5	106.5	✗	1.4 PP...	Q,N,M	297.6	-15.7	-17.9	4.9	-0.1
	Ext. Inferior	✗	✗	14.2	141.7	✗	PP+CP	Disp....	171.1	-13.4	6.7	2.5	0.0
	Ext. Inferior	✗	✗	14.2	141.7	✗	1.4 PP...	Q,N,M	301.5	-23.2	12.4	4.9	-0.1
Edição da armadura													
cintamento		0 m	30	12	4	Ø16	4	Ø16	0	--	Ø6.3	12	4.5
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Ext. Superior	✗	✗	45.9	70.1	✗	PP+CP	Disp....	230.7	-5.8	4.0	-9.4	-3.1
	Ext. Superior	✗	✗	45.9	70.1	✗	1.4 PP...	Q,N,M	384.8	-9.7	6.6	-15.1	-4.3
	Ext. Inferior	✗	✗	45.9	68.4	✗	PP+CP	Disp....	231.2	5.8	-2.3	-9.4	-3.1
	Ext. Inferior	✗	✗	45.9	68.4	✗	1.4 PP...	Q,N,M	385.5	9.7	-3.7	-15.1	-4.3
Edição da armadura													
fundação		-0.8 m	30	12	4	Ø16	4	Ø16	0	--	Ø6.3	3	4.5
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Elemento de Fundação	N.P.	N.P.	15.7	68.4	68.4	1.4 PP...	Q,N,M	385.5	9.7	-3.7	-15.1	-4.3

Figura 17 – Armadura do Pilar P20 sinalizado pelo Cypecad. Fonte: Software Cypecad, 2019.

Edição da armadura													
		Dimensão		Armadura longitudinal						Armadura transversal			
		X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X		Face Y		Estribos	Espacamento	As/Ac (%)	
cobertura		6.3 m	14	4	Ø12.5	0	--	0	--	✓	Ø6.3	14	1.2
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Ext. Superior	✓	✓	15.6	45.5	54.6	1.4 PP...	Q,N,M	114.3	6.8	-7.6	5.2	1.3
	Ext. Inferior	✓	✓	20.6	54.6	54.6	1.4 PP...	Q,N,M	118.0	-7.0	13.5	5.2	1.3
Edição da armadura													
teto do telhado		3.15 m	30	14	4	Ø12.5	4	Ø12.5	0	--	Ø6.3	14	2.3
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Ext. Superior	✓	✓	15.7	77.9	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	297.6	-12.8	-16.7	4.9	-0.1
	Ext. Superior	✓	✓	15.7	77.9	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	301.5	-20.0	11.6	4.9	-0.1
	Ext. Inferior	✓	✓	13.4	99.2	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	301.5	-20.0	11.6	4.9	-0.1
	Ext. Inferior	✓	✓	13.4	99.2	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	301.5	-20.0	11.6	4.9	-0.1
Edição da armadura													
cintamento		0 m	30	14	4	Ø12.5	4	Ø12.5	0	--	Ø6.3	14	2.3
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	0 m	N.P.	N.P.	4.6	99.2	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	301.5	-20.0	11.6	4.9	-0.1
	Ext. Superior	✓	✓	42.6	62.1	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	384.8	-9.2	6.1	-15.1	-4.3
	Ext. Inferior	✓	✓	42.6	60.5	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	385.5	9.3	-3.4	-15.1	-4.3
	Ext. Inferior	✓	✓	42.6	60.5	99.2	1.4 PP...	Q,N,M	385.5	9.3	-3.4	-15.1	-4.3
Edição da armadura													
fundação		-0.8 m	30	14	4	Ø12.5	4	Ø12.5	0	--	Ø6.3	3	2.3
Resumo das verificações													
Pilar	Posição	Verificações				Comb.	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência
		Disp.	Am.	Q (%)	N.M (%)			N (kN)	Max (kN.m)	My (kN.m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
P20	Elemento de Fundação	N.P.	N.P.	14.6	60.5	60.5	1.4 PP...	Q,N,M	385.5	9.3	-3.4	-15.1	-4.3

Figura 18 – Armadura do Pilar P20 após as modificações. Fonte: Software Cypecad, 2019.

Sabe-se que todas as vigas foram pré-dimensionadas com 12x30cm, porém nem todas passaram após as análises do Cypecad (2019). Para o ajuste das vigas, dividido em duas partes (seção e armadura) semelhante aos dos pilares, se ampliará as dimensões de suas seções e após, realizar a ação para todas as vigas em vermelho. Será utilizada para exemplificar o aumento da seção nas figuras 19 e 20, parte da edificação onde há vigas apresentando os erros.

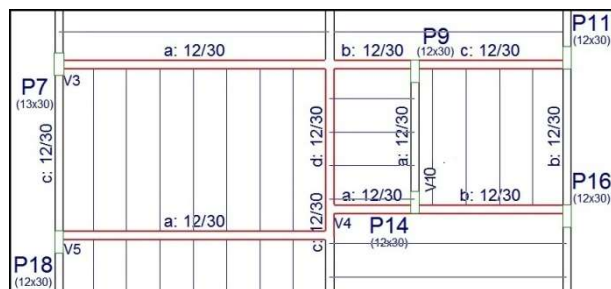


Figura 19 – Vigas notificadas em vermelho Fonte: Os autores, 2019.

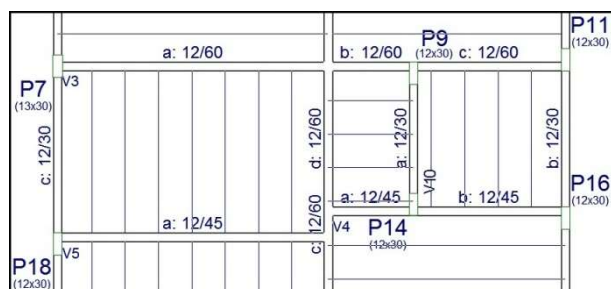


Figura 20 – Vigas rearmadas corretamente. Fonte: Os autores, 2019.

Resultando no quantitativo da obra até o momento, conforme abaixo:

Elemento	Fôrmas (m ²)	Superfície (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes de vigotas	-	173.59	7.950	347
Lajes maciças	-	23.13	2.770	147
Vigas	158.58	30.74	12.220	929
Pilares	89.36	-	3.930	933
Escadas	-	9.14	1.170	113
Total	-	236.60	28.040	2469
Índices (por m²)	-	-	0.122	10.75
Superfície total: 229.69 m²				

Figura 20 – Quantitativo da obra anterior à otimização das armaduras Fonte: Software Cypecad, 2019.

Será preciso reorganizar as armaduras visando às práticas construtivas e a economia dos materiais. Como critério, os estribos (armadura transversal) terão um espaçamento de 15cm, será evitada armadura dupla, compatibilizando os diâmetros da seção transversal do aço na armadura longitudinal cujo comprimento máximo das barras serão de 12m. Observa-se que independente da análise anterior, todas as vigas passarão pela verificação das armaduras.

Para exemplificar, será utilizada de modelo a viga V2 do teto do térreo (segundo pavimento) conforme representada na figura 21, notando-se que terá uma especificidade em relação as outras, pois entre o vão dos pilares P2 e P4 haverá o nascimento do Pilar (P3) descarregando sua carga naquele local, realizando a verificação da armadura longitudinal (figura 22) e transversal (figura 23).

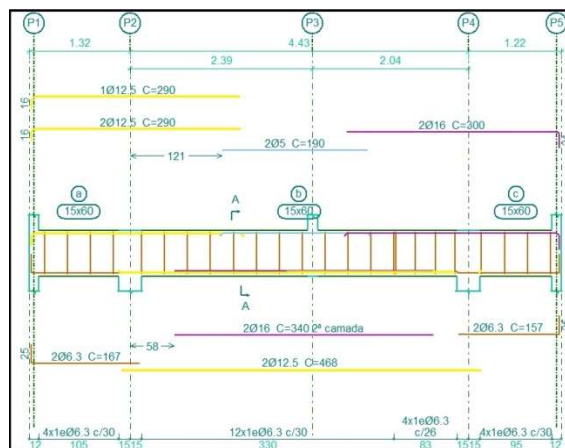


Figura 21 – Viga V2 antes da verificação. Fonte: Software Cypecad, 2019.

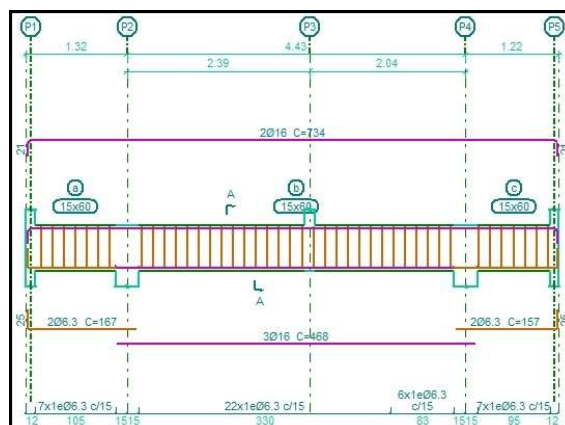


Figura 22 – Viga V2 após a verificação. Fonte: Software Cypecad, 2019.

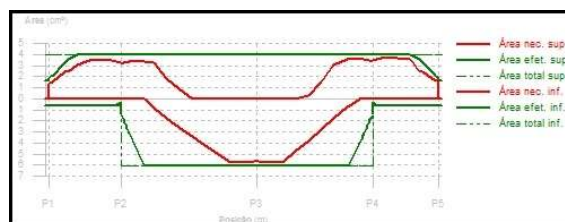


Figura 23 – Área de aço da seção transversal da viga. Fonte: Software Cypecad, 2019.

Ao término das verificações da viga V2 da planta do teto do térreo, o processo será repetido para todas as vigas, resultando no quantitativo da obra a seguir:

Elemento	Fôrmas (m²)	Superfície (m²)	Volume (m³)	Barras (kg)
Lajes de vigotas	-	173.59	7.950	347
Lajes maciças	-	23.13	2.770	147
Vigas	158.58	30.74	12.220	1161
Pilares	89.36	-	3.930	933
Escadas	-	9.14	1.170	113
Total	-	236.60	28.040	2701
Índices (por m²)	-	-	0.122	11.76
Superfície total: 229.69 m²				

Figura 23 – Quantitativo da obra após a otimização das armaduras. Fonte: Software Cypecad, 2019.

5. Considerações Finais

Ao longo deste projeto, podemos concluir que a utilização do *software* Cypecad para cálculos estruturais exige do profissional certo nível de conhecimento técnico e normativo, que aliado à experiência permite uma análise completa para mesclar o processo construtivo com o consumo de materiais. Prova disso é quando foi realizado o cálculo do pré-dimensionamento dos pilares onde se adotou inicialmente um mínimo de 12x30cm para ir aumentando gradativamente caso não passasse, ao invés de dimensioná-los com 30x30cm tendo um gasto excessivo de materiais e no quantitativo da obra anterior (2469kg de aço) e posterior (2701kg de aço) a otimização das armaduras nas vigas, constatando que houve um aumento de 9,4% do kg do aço quando comparado ao que o programa indicou, sendo este aumento benéfico na prática construtiva para evitar erros na hora da montagem e desperdícios de materiais.

Por fim, durante a realização deste projeto estrutural, foi possível solidificar os conhecimentos adquiridos no decorrer da graduação nas disciplinas de Estruturas de Concreto Armado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. 1994. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos - Elaboração. 2015. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CYPECAD. Versão de estudante 2019. Cype Ingenieros, 2019.

ENGEMOLDE. **Catálogo de Laje Treliçada (LT) com cerâmica**. Disponível em: <http://www.engemolde.com.br/uploads/produtos/laje_trelicada_ceramica.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2019.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado** - cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: PINI, 2007.

MULTIPLUS Computação Gráfica. **Cypecad**: Curso Prático Interativo. Disponível em: <<http://www.multipius.com>>. São Paulo: 2011.

PINHEIRO, LIBANIO M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.