



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Avaliação do dimensionamento de duas concepções estruturais em concreto armado para uma edificação mista

Matheus Miranda de Oliveira¹, Lucas Roquete², Kaique Sales Basto Bruno², Vitor Albuquerque Gomes², Henrique Teixeira Godoi de Barros¹, Keitiane Fátima Coimbra¹

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.
matheusmoliveira4@gmail.com, henriquegodoibarroshotmail.com, keitianecoimbra@gmail.com

² Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG, Brasil
lucasroquete@gmail.com, kaique1305@hotmail.com, vitoralbuquerque96@hotmail.com

Resumo

O trabalho apresenta um estudo da avaliação de duas concepções estruturais diferentes para o desenvolvimento de um projeto estrutural em concreto armado de uma edificação mista composta por dois pavimentos. Os estudos foram realizados por meio da análise do projeto arquitetônico, da definição das diferentes concepções estruturais com pontos de divergência, como locação dos pilares, lajes, vigas e suas respectivas dimensões, e pelo dimensionamento dos elementos estruturais. Ao avaliar os resultados obtidos, foi possível verificar o comportamento estrutural e as dificuldades de dimensionamento encontradas devido à disposição dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) em ambas concepções e as solucionar conforme as prescrições normativas associadas, fator necessário para garantir a qualidade e segurança do projeto estrutural. O estudo permitiu avaliar a quantidade de materiais, em relação ao consumo de aço, volume de concreto e área de forma total e por pavimento da edificação. Por fim, o estudo possibilitou sugerir a escolha de uma concepção estrutural.

Palavras-chave

Estruturas de concreto armado; projeto estrutural; concepção estrutural; dimensionamento de estruturas;

1. Introdução

A utilização do concreto armado em edifícios residenciais e comerciais está difundida no ramo da construção civil no Brasil. Segundo GIONGO (2005), essa disseminação do uso do concreto armado acontece devido a possibilidade da adaptação de qualquer forma geométrica estrutural, o qual possibilita a execução de inúmeras concepções arquitetônicas.

Desse modo, a partir do projeto arquitetônico é necessário definir a estrutura para a elaboração do projeto estrutural utilizando o concreto armado. Conforme aborda ARAUJO (2014), nessa etapa é necessário definir o posicionamento e as dimensões preliminares dos elementos estruturais (vigas, pilares, fundações e lajes) de acordo com as características da edificação estudada.

No entanto, o lançamento inicial da estrutura pode sofrer alterações com o andamento do dimensionamento. Além disso, é possível afirmar que podem existir diferentes lançamentos estruturais para a mesma concepção arquitetônica, devido à experiência de cada projetista estrutural.

Para o desenvolvimento de um projeto estrutural no Brasil, deve-se avaliar as principais informações e características existentes na literatura sobre o concreto armado, as ações atuantes na estrutura, as condições necessárias para garantir a qualidade e segurança do projeto, assim como as prescrições normativas associadas: ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto; ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações; ABNT NBR 6120:2019 - Cargas para cálculo em estruturas de edificações; ABNT NBR 8681:2004 - Ações e segurança nas estruturas.

Para o dimensionamento estrutural, tem-se difundido a utilização de *softwares* para cálculos estruturais. Todavia, é necessária uma prévia experiência e conhecimento do projetista para desenvolver um projeto estrutural que proporcione redução do custo da obra e facilidade de execução. Como afirma KIMURA (2007), atualmente existe uma grande variedade de *softwares* que executam o dimensionamento dos elementos estruturais de maneira rápida e prática. Talvez por isso, executar um projeto pode parecer uma tarefa fácil. Porém, o papel do engenheiro vai além de apenas lançar a estrutura em um programa.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes concepções estruturais em concreto armado de uma edificação mista composta por dois pavimentos, desenvolvidas utilizando um *software* de cálculo estrutural. As etapas: a análise do projeto arquitetônico, concepção estrutural e dimensionamento dos elementos, foram estudadas para permitir a comparação de duas concepções estruturais diferentes em relação ao consumo de material (aço e concreto) e o custo da obra.

2. Desenvolvimento e dimensionamento

Neste item será abordado todo o processo da execução dos projetos, desde o arquitetônico ao fim do dimensionamento estrutural, apresentando as concepções estruturais adotadas, o lançamento da estrutura, as configurações do *software*.

Para o desenvolvimento do projeto arquitetônico foram utilizados os *softwares* AutoCAD e *Sweet Home*. Para a execução do projeto estrutural, inicialmente realizou-se um estudo do *software* Eberick e sobre a teoria de dimensionamento em concreto armado.

Foram então definidas as concepções estruturais a serem adotadas. Assim, o dimensionamento se deu por meio de duas concepções distintas que adotaram posições diferentes para os elementos estruturais, visando a estética do projeto e economia na taxa de aço.

2.1 Projeto arquitetônico

O Projeto Arquitetônico concebido corresponde a um lote com área de 400m². A partir das análises iniciais, foi desenvolvido um edifício misto de 2 (dois) pavimentos, contendo 1 (uma) Loja e 3 (três) apartamentos, um apartamento com três quartos na parte frontal e dois com dois quartos, na parte posterior do edifício.

O início do projeto, se deu com o estudo da fachada frontal do edifício. Para isso, foi utilizado o *software* *Sweet Home*. A concepção adotada leva em consideração um edifício moderno, de padrão médio e com sacadas na fachada frontal. Na Figura 1 é mostrado o trabalho final dessa etapa.



Figura 1 – Vista da fachada frontal

Em seguida, foi elaborado o *layout* dos apartamentos. O início da concepção foi com a premissa dos quartos do apartamento frontal estarem posicionados de frente para rua, e posteriormente foram locados os demais cômodos do apartamento de três quartos. Posteriormente, foi posicionado o hall, a escada e o elevador.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

A terceira etapa do projeto consistiu na elaboração do Pavimento Térreo. O referencial inicial para a execução desse pavimento, foi o posicionamento da escada e do hall. Assim, foi estabelecida na parte frontal uma passagem de acesso aos apartamentos (área de circulação), entrada da garagem e uma área comercial (Loja). Por fim, foi definida a sala do Data Center e distribuídas as vagas de garagem.

A quarta etapa se deu com a execução do *layout* dos apartamentos dos fundos. Esses apartamentos, foram feitos de forma “espelhada”, com a presença dos quartos e banheiro nos fundos dos apartamentos, a fim de gerar mais conforto e privacidade.

Para finalizar, todo o projeto desenvolvido no *software Sweet Home* foi realizado no AutoCad, a fim de se ter maior precisão e detalhamento. O pavimento térreo e tipo possuem uma área de 271,25 m² e 262,92 m² respectivamente, e são mostrados na Figura 2. Vale ressaltar que o 1º Pavimento equivale ao Pavimento Tipo.

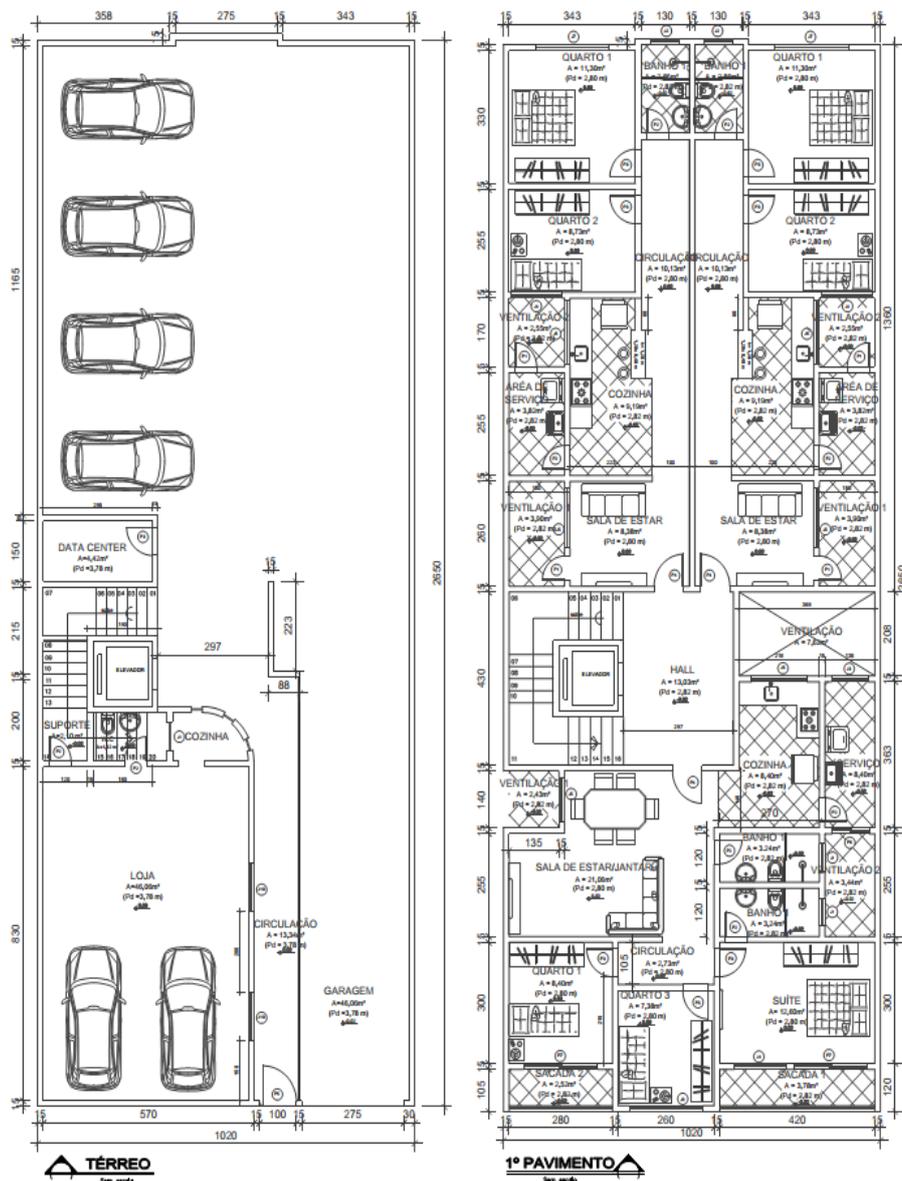


Figura 2 - Projeto Arquitetônico



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

2.2 Concepções estruturais

Esta etapa é considerada uma das mais importantes do projeto e consiste na análise do projeto arquitetônico para a construção de um arranjo adequado ao sistema estrutural, visando atender simultaneamente os requisitos de segurança, durabilidade, estética e funcionalidade da estrutura.

A Concepção 1, como é mostrada na Figura 3, visa a estética da estrutura atrelada à economia, escondendo os elementos estruturais nas alvenarias, respeitando os vãos da garagem e da loja, seguindo fielmente a arquitetura e mantendo o balanço no segundo pavimento. Na concepção foi adotado um maior número de vigas e lajes, visando distinguir ao máximo os ambientes e suas cargas.

Primeiramente, foram locados os pilares no pavimento tipo de acordo com o encontro entre vigas, quinas, extremidades e respeitando um limite de aproximadamente 5 metros. Em seguida, foi feita a verificação dos pilares no pavimento térreo, analisando qualquer tipo de interferência na loja, garagem ou janelas.

Após a análise, concluiu-se que os pilares da entrada e da garagem estavam mal posicionados. Então, a solução adotada foi utilizar na região da garagem somente pilares nas duas extremidades e no centro da estrutura, resultando em vãos de 4,6 metros.

Com os pilares alocados como está apresentado na Figura 3, as vigas foram analisadas para que os ambientes não fossem afetados por elementos aparentes. Portanto, o posicionamento se deu de acordo com a alvenaria determinada pelo projeto arquitetônico.

Como pré-dimensionamento, os elementos possuem uma largura de 14 cm, tendo em vista a espessura de 15 cm das paredes. Portanto, para as vigas foi adotada uma seção de 14x40 cm e para os pilares 14x30cm. Para as lajes, inicialmente uma espessura de 10 cm.

A concepção 2 (Figura 4), teve da mesma forma um pré-dimensionamento das estruturas próximas às dimensões mínimas estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014, a fim de gerar maior economia para estrutura. Dessa forma, os pilares tinham dimensões de 14x30 cm, as vigas 14x40 cm e laje com 10 cm.

A princípio, foram locados os pilares nos apartamentos dos fundos, dispostos nas paredes e seguindo os encontros das paredes. Posteriormente, foram locados os pilares laterais na mesma direção das paredes laterais, de modo que os pilares da garagem e loja não ficassem aparentes, melhorando assim a estética e também a passagem da garagem. Após tal disposição, foram analisadas as vagas de garagem a fim de garantir boa distribuição dos espaços para as mesmas.

A locação das vigas seguiu ao máximo as paredes para não ficarem aparentes e partiram sempre de um pilar para outro, salvo em algumas situações.

As duas concepções tiveram as locações dos pilares e vigas em posições bem próximas, visto que nos dois casos a locação desses elementos foram de acordo com o Projeto Arquitetônico. Entretanto, ao se comparar a quantidade de pilares e vigas, foram verificadas algumas diferenças como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo do número de elementos estruturais

Pavimento	Concepção 1		Concepção 2	
	Números de pilares	Números de vigas	Números de pilares	Números de vigas
Baldrame	37	31	34	23
Térreo	37	34	33	25
Tipo	37	34	33	34

As diferenças destacadas são explicadas pelo fato de na Concepção 1 ter-se optado pelo uso de vigas em praticamente todas as situações para a sustentação das paredes, enquanto a Concepção 2 tem situações em que as paredes estão diretamente sobre a laje, o que facilita na execução da obra, uma vez que é necessário realizar apenas a forma da laje. Outra diferença é o maior número de pilares da Concepção 1, explicado pela presença de 3 pilares na sacada frontal do apartamento de três quartos.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

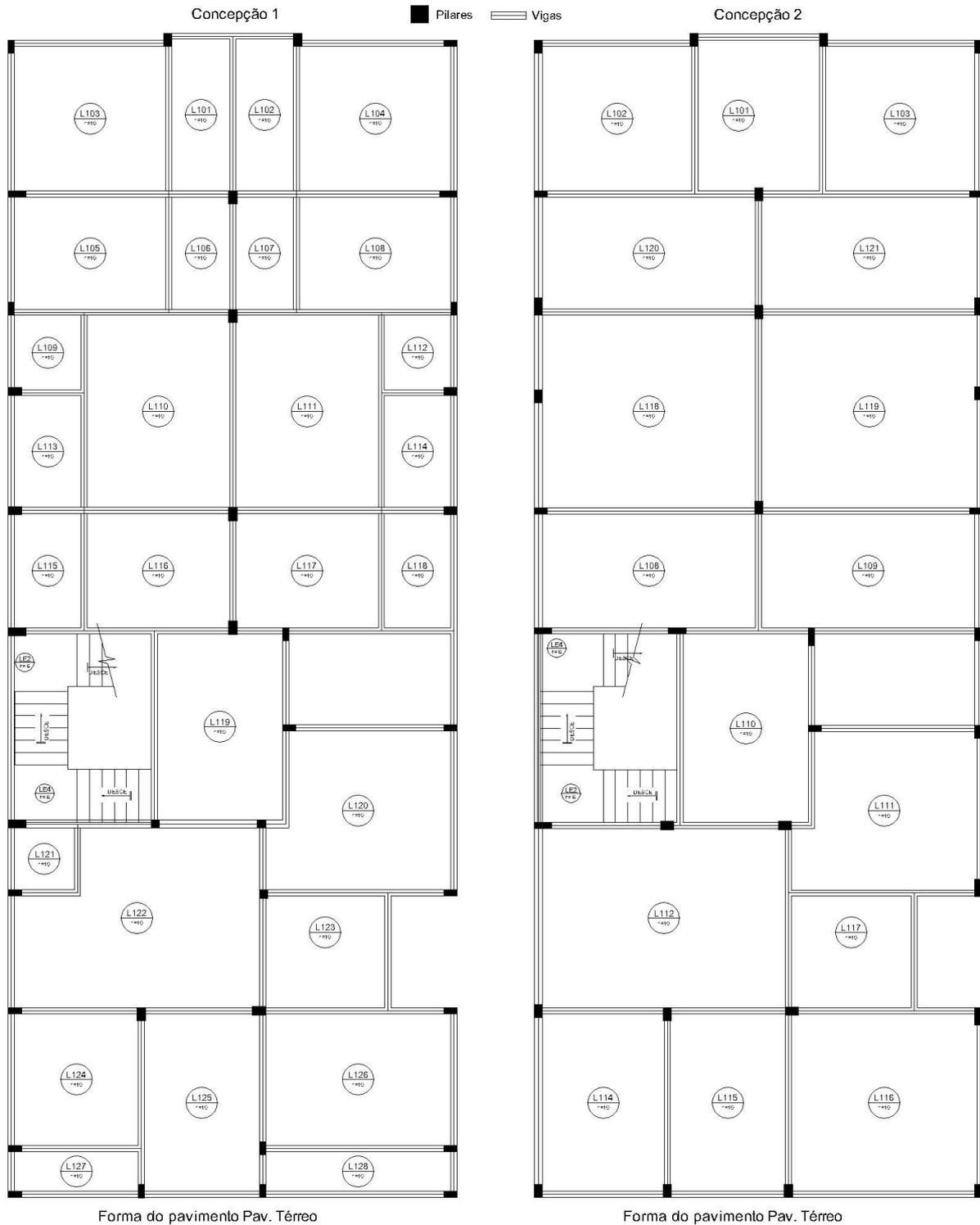


Figura 3 – Planta de forma do Pavimento Térreo: a) Concepção 1; b) Concepção 2



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

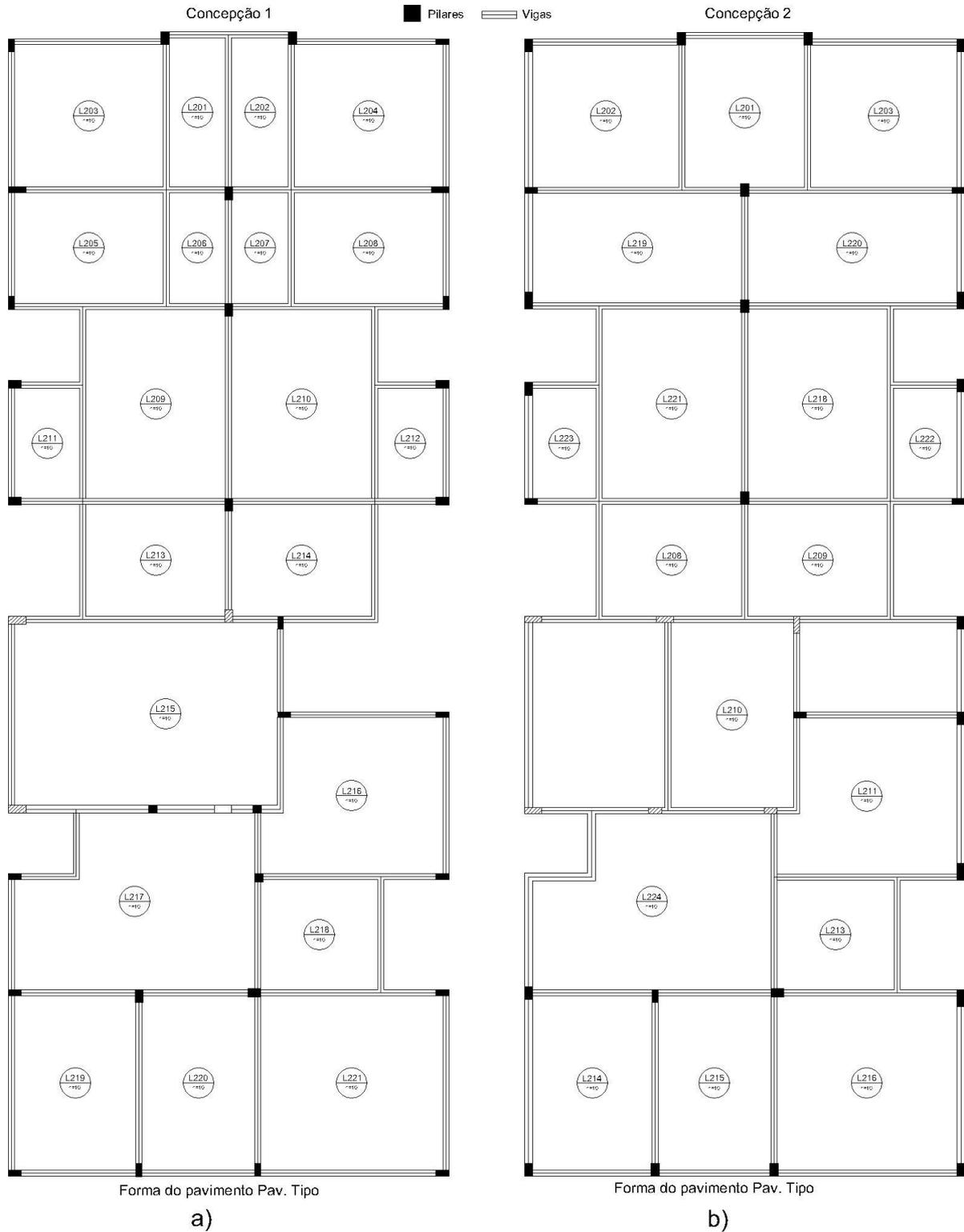


Figura 4 - Planta de forma do Pavimento Tipo: a) Concepção 1; b) Concepção 2



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

2.3 Configurações de dimensionamento

A aplicação da estrutura em diferentes locais requer uma configuração única e adequada para cada projeto, levando em consideração diversos fatores disponíveis no *software* utilizado, como: materiais e durabilidade, análise, vento, dimensionamento e detalhamento. Este tópico visa abordar principalmente alterações nas configurações padrão do *software* utilizado.

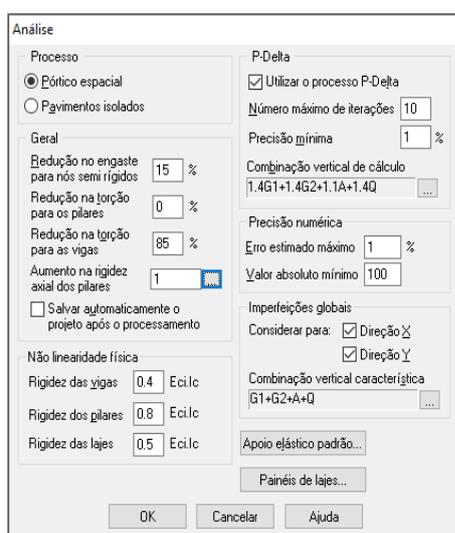
No *software* foi possível configurar parâmetros para a durabilidade da estrutura e características importantes do aço e concreto. Destacam-se entre essas: a classificação de agressividade ambiental, classe do concreto e as bitolas que poderão ser utilizadas no detalhamento, sendo selecionadas de acordo com a disponibilidade e uso em cada região. Neste trabalho foram utilizados concreto C25 e classe de agressividade II. As bitolas utilizadas foram Ø5.0, Ø6.3, Ø8.0, Ø10.0, Ø12.5, Ø 16.0 e Ø20.

As configurações de análise adotadas neste trabalho são mostradas na Figura 5 a). Elas definem os parâmetros para o modelo de cálculo a partir do qual será obtida a distribuição dos esforços nos elementos, análise global da estrutura e sua não linearidade física. Dentre elas, destacam-se:

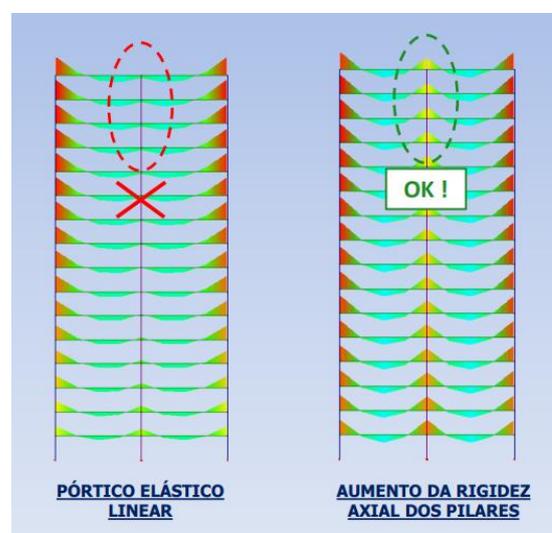
- Redução no engaste para nós semirrígidos: De acordo com o item 14.6.4.3 da NBR 6118:2014, esse valor pode ser até de 25% para uma estrutura de nós fixos. Essa redução é aplicada quando um nó semirrígido é lançado manualmente pelo usuário no programa.

- Redução na torção para as vigas: De acordo com a NBR 6118:2014, pode-se reduzir a rigidez à torção das vigas por fissuração, utilizando-se 15% da rigidez elástica. Portanto, aplica-se uma redução na torção em vigas de 85%.

- Aumento na rigidez axial dos pilares: O *software* considera que o edifício é construído de uma só vez, mas na realidade a construção é lenta e feita por pavimentos. O que acontece é que a cada andar, a deformação axial do pilar do andar de baixo é compensada por uma construção plana do pavimento acima, onde sempre haverá um momento negativo. O programa não considera tal fato, esse momento negativo diminui pela deformação dos pilares, podendo até se tornar um momento positivo como é apresentado na Figura 5 b). Para compensar esse fato, pode-se aplicar diferentes multiplicadores para a rigidez axial dos pilares ao longo dos andares.



a)



b)

Figura 5 – Configurações de dimensionamento: a) Configurações de análise; b) Consideração do aumento da rigidez axial dos pilares

Os parâmetros relacionados ao vento adotados nesse projeto foram estabelecidos de acordo com o local onde será construída a obra. Tais fatores são regidos pela ABNT NBR 6123:1988.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Finalmente, foram lançadas as cargas de parede de 13 kN/m³ nas vigas e nas lajes correspondentes. Para o lançamento das lajes foi consultada a ABNT NBR 6120:2019, com o objetivo de adicionar corretamente as cargas de cada cômodo, mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Cargas variáveis de edifícios residenciais

Local	Carga acidental (kN/m ²)	Carga de revestimento (kN/m ²)
Copa, cozinha e banheiro	1,5	1,376
Despensa, área de serviço e lavanderia	2	1,545
Sacada (sem acesso público)	2	1,376
Terraço (sem acesso público)	2	1,376
Corredor com acesso ao público	3	1,025
Escada	3	1,025
Dormitório	1,5	1,025
Sala	1,5	1,025

3. Resultados

As concepções 1 e 2 tiveram pontos em que divergiram, como locação dos pilares, vigas e suas respectivas dimensões, fatores esses que estão de acordo com a definição do projetista. Dessa forma, ficou evidente a diferença de alguns valores na geração final dos relatórios, por exemplo, referente ao quantitativo de materiais, como também para o resumo de custos, que estão apresentados a seguir.

3.1 Resumo de materiais

O resumo de aço corresponde ao total de aço das vigas, pilares, lajes, escadas e fundações da Concepção 1 e 2, como é mostrado nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 – Aço da concepção 1

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)					Total
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	
CA50	6.3	20.0	-	876.1	26.7	108.6	1031.4
CA50	8.0	1139.5	-	287.1	49.8	304.6	1780.9
CA50	10.0	232.8	855.5	196.7	-	210.3	1495.3
CA50	12.5	305.1	674.3	3.0	-	-	982.4
CA50	16.0	18.1	566.0	-	-	-	584.0
CA60	5.0	528.1	410.7	1075.0	18.0	-	2031.8

Tabela 4 – Aço da concepção 2

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)					Total
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	
CA50	6.3	561.0	-	902.3	36.1	111.4	1610.7
CA50	8.0	405.0	-	652.2	25.2	243.6	1326.0
CA50	10.0	335.8	154.0	237.4	-	100.7	827.9
CA50	12.5	237.0	1062.9	91.0	-	-	1390.9
CA50	16.0	44.6	1018.7	-	-	-	1063.3
CA50	20.0	30.4	-	-	-	-	30.4
CA60	5.0	493.2	350.2	781.9	14.3	-	1639.5

Os dados das Tabelas 3 e 4 foram comparados, a fim de identificar as divergências de cada concepção em relação ao peso total de aço para cada diâmetro. Dessa forma, é possível perceber na Figura 6 a ocorrência de consideráveis diferenças no peso do aço, sendo que a Concepção 2 apresentou maiores valores para o diâmetro de 6.3mm, 12.5mm e 16.0mm. Já a Concepção 1 superou os valores da Concepção 2 para os diâmetros de 8.0mm, 10.0mm e 5.0 mm.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

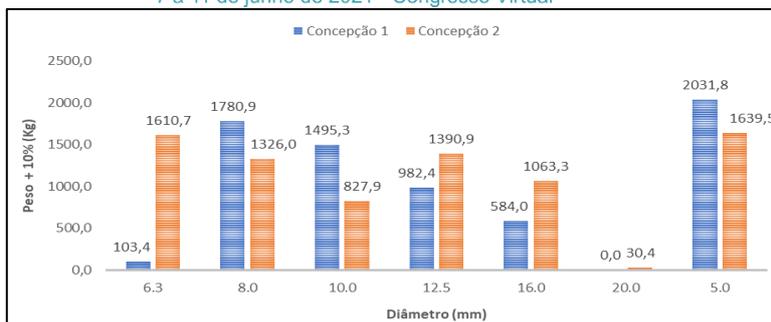


Figura 6 - Comparativo de aço

Todavia, mesmo com grandes diferenças entre as duas concepções referente ao peso de aço em cada diâmetro, pode ser observado na Figura 7 que o somatório do peso total do CA50 e CA60 são bem próximos se comparados os valores das duas concepções.

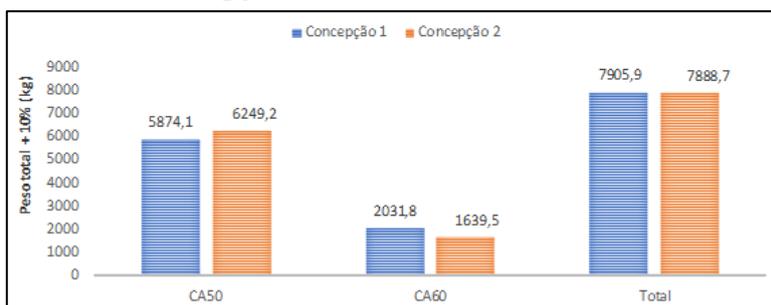


Figura 7 - Comparativo do total de aço

Vale ressaltar algumas diferenças representadas na Figura 8. A primeira, é o volume de concreto, o qual é 126,5m³ para a Concepção 1 e 115,7m³ para a Concepção 2. A segunda, é área da forma, a qual é 1521,3m² e 1400,0m² para a Concepção 1 e Concepção 2 respectivamente. Por último, o consumo de aço, este é dado por 62,5kg/m³ para a Concepção 1 e 68,2kg/m³ para a Concepção 2. Assim, foi possível perceber que ocorreu uma diferença do consumo de aço em kg/m³ significativa explicada pela desigualdade do volume de concreto, sendo notado que o modelo com maior volume de concreto teve um consumo maior na área de forma e menor de aço por m³.

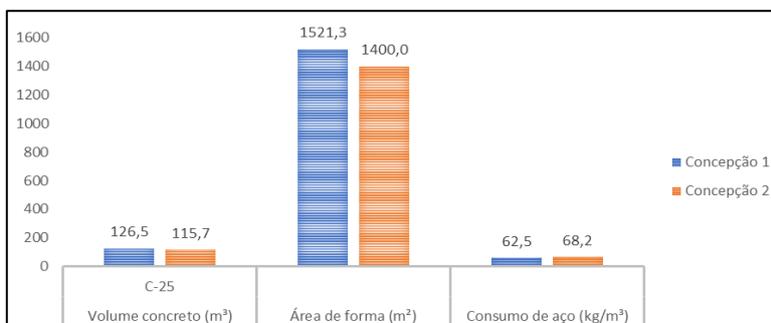


Figura 8 - Comparativo do total de materiais

3.2 Resumo de custos

A última parte dos dados gerados no resumo de materiais corresponde ao resumo de custos. O custo unitário tem como base valores configurados do *software* Eberick. Nessa etapa, foi gerada a composição de custos de pilares, vigas, lajes, escadas e fundações, divididas por pavimentos.

A fim de melhor visualização, foi desenvolvido o gráfico com o resumo dos custos, conforme apresentado na Figura 9. Esse estabelece o valor total de cada pavimento, além do custo total da estrutura. Assim, é possível perceber que a Concepção 2 apresentou valores menores em relação à Concepção 1 em todos os pavimentos, exceto a Cobertura.

Também é importante salientar que a maior diferença se encontra no pavimento Baldrame, o qual leva em consideração as fundações, vigas baldrames e pilares. Os fatores observados que destoaram nesse custo foram a altura dos pilares, as fundações (dimensões e quantidade das sapatas) e a quantidade de vigas baldrames, já que a taxa de consumo de aço é a mesma para duas concepções no pavimento Baldrame.

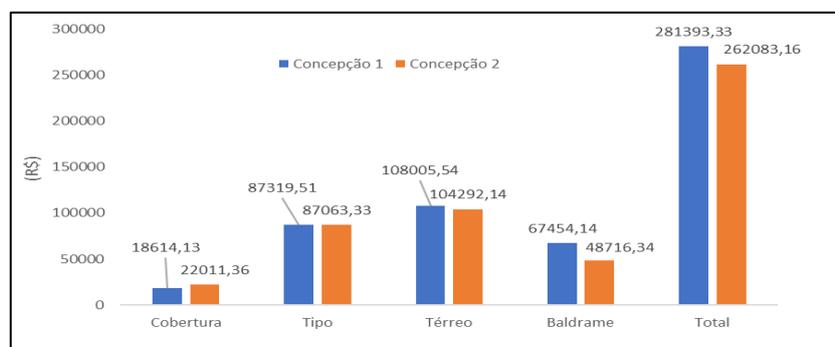


Figura 9 - Comparativo do resumo de custos

4. Conclusões

Este trabalho apresentou todo o processo de elaboração de um projeto estrutural de um edifício de dois pavimentos. Foi iniciado com o estudo e elaboração do Projeto Arquitetônico, continuando com o desenvolvimento de duas concepções distintas do projeto estrutural e finalizou com o comparativo entre os dois projetos estruturais.

Foi possível identificar a real importância do projeto arquitetônico para realização de um bom projeto estrutural. Ocorreu uma grande restrição imposta pela planta baixa em relação ao lançamento dos elementos estruturais, sendo assim as duas concepções desenvolvidas tiveram muitos pontos em comum.

A interpretação da norma, bem como os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Civil, tem um papel de grande importância no cálculo estrutural de uma edificação. Tal importância ocorre tanto para questões de otimização da estrutura, quanto para resolução de problemas relatados pelo *software*.

O comparativo entre modelos estruturais, explicita pontos interessantes a respeito de custo e quantidade de materiais. Fatores como a locação das vigas devem ser bem analisados para reduzir as cargas, custos e o tempo de execução de formas e da obra. Além do aumento do número de pilares, que proporciona aumento do número de vigas baldrames para seu travamento.

Portanto, foi possível observar que a Concepção 2 apresentou um menor custo e consumo de materiais comparada com a Concepção 1, sendo a melhor opção de projeto estrutural.

Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento: NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014;
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Forças devido ao vento em edificações: NBR 6123. Rio de Janeiro, 1980;
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Cargas para cálculo em estruturas de edificações: NBR 6120. Rio de Janeiro, 2019;
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento: NBR 8681. Rio de Janeiro, 2004;
- ARAÚJO, José Milton de. Projeto estrutural de edifícios de concreto armado. Rio Grande: Dunas, v. 3, 2014.
- GIONGO, José Samuel. Concreto armado: projeto estrutural de edifícios. EESC/SET, 2005.
- KIMURA, A. Informática aplicada em estruturas de concreto armado. 1º ed., São Paulo: Pini, 2007