

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

DANIEL ANDREOLIO TOMASINI

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE EDIFICAÇÃO COMERCIAL E
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS:
COMPARAÇÃO ENTRE VEDAÇÃO INTERNA EM ALVENARIA CONVENCIONAL
E *DRYWALL***

Bento Gonçalves

2022

DANIEL ANDREOLIO TOMASINI

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE EDIFICAÇÃO COMERCIAL E
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS:
COMPARAÇÃO ENTRE VEDAÇÃO INTERNA EM ALVENARIA CONVENCIONAL
E *DRYWALL***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

Bento Gonçalves

2022

DANIEL ANDREOLIO TOMASINI

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE EDIFICAÇÃO COMERCIAL E
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS:
COMPARAÇÃO ENTRE VEDAÇÃO INTERNA EM ALVENARIA CONVENCIONAL
E *DRYWALL***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

Bento Gonçalves, 11 de julho de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Me. Luciano Zatti
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Esp. Mauricio Monteiro Almeron
Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

A construção civil está em constante evolução e atualmente é de extrema importância estar em busca de processos construtivos mais eficientes, visando um maior desempenho e uma redução de custos. O objetivo central desta monografia foi analisar e comparar, de forma técnica e econômica, uma estrutura em concreto armado que apresenta vedação interna em *drywall* e em alvenaria convencional. Para isso, o *software* utilizado para cálculo das estruturas foi o *Multiplus CypeCAD*, onde foi empregado o mesmo projeto estrutural para ambas as vedações internas, sendo que o objeto de análise foi o pavimento tipo. A fim de apresentar um foco maior no peso do aço, insumo de maior valor na construção, a dimensão geométrica dos pilares, vigas e lajes foram mantidos iguais, tendo uma mudança somente nas fundações. Analisando os dois modelos de vedação interna de forma técnica, o projeto feito em *drywall* apresentou valores mais satisfatórios quanto ao deslocamento no topo da edificação, carga vertical total, consumo de aço, volume de concreto e área de fôrma. Quando analisados de forma econômica, o projeto em *drywall* apresentou um melhor resultado, gerando uma economia relacionada ao custo dos insumos analisados de 1,363%. Sob essa ótica, a estrutura com vedação interna em *drywall* evidenciou um melhor desempenho técnico e econômico.

Palavras-chave: vedação interna; alvenaria convencional; *drywall*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama tensão-deformação	20
Figura 2 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas	21
Figura 3 – Representação dos blocos cerâmicos.....	33
Figura 4 – Especificação de uma parede em <i>drywall</i>	36
Figura 5 – Fachada da edificação	39
Figura 6 – Corte arquitetônico	40
Figura 7 – Planta baixa pavimento tipo	42
Figura 8 – Dados gerais adotados para o projeto estrutural	44
Figura 9 – Parâmetros utilizados para as ações do vento.....	45
Figura 10 – Disposição e cotas da edificação	46
Figura 11 – Pré-dimensionamento da área de forma do pavimento tipo.....	47
Figura 12 – Cargas superficiais dos reservatórios	49
Figura 13 – Estrutura em 3D	51
Figura 14 – Deslocamento no topo da estrutura em alvenaria convencional	52
Figura 15 – Deslocamento no topo da estrutura em <i>drywall</i>	53
Figura 16 – Comparativo do coeficiente Gama-Z.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo da carga vertical total do projeto em alvenaria convencional e em <i>drywall</i>	54
Gráfico 2 – Comparativo do peso de aço entre alvenaria convencional e <i>drywall</i>	56
Gráfico 3 – Comparativo do volume de concreto entre alvenaria convencional e <i>drywall</i>	57
Gráfico 4 – Comparativo da área de forma entre alvenaria convencional e <i>drywall</i> ..	58
Gráfico 5 – Comparativo total de custos	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre alvenaria convencional e <i>drywall</i>	38
Quadro 2 – Carregamentos adotados para as lajes.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de resistência de concretos estruturais	18
Tabela 2 – Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	18
Tabela 3 – Valor estimado do módulo de elasticidade em função da resistência à compressão do concreto	19
Tabela 4 – Valor do coeficiente de aderência η_1	21
Tabela 5 – Relação entre a classe de agressividade ambiental e cobertura nominal para $\Delta c = 10$ mm	22
Tabela 6 – Coeficientes de ponderação γ_f	24
Tabela 7 – Coeficiente de combinação de ações $\gamma_f 2$	25
Tabela 8 – Combinações últimas	26
Tabela 9 – Combinações de serviço	27
Tabela 10 – Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação.....	34
Tabela 11 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação	34
Tabela 12 – Características geométricas das chapas de gesso acartonado a serem seguidas	37
Tabela 13 – Limites físicos e mecânicos das chapas de gesso acartonado a serem seguidos	37
Tabela 14 – Cargas utilizadas para o carregamento das paredes	49
Tabela 15 – Orçamento do projeto com vedação em alvenaria convencional	59
Tabela 16 – Orçamento do projeto com vedação em <i>drywall</i>	60

LISTA DE SIGLAS

C	Comprimento
CA	Concreto Armado
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
cm	Centímetro
dB	Decibel
E	Módulo de Elasticidade
ELS	Estado Limite Serviço
ELU	Estado Limite Último
Fc	Resistência à Compressão
Fcd	Resistência à Compressão de Cálculo
Fck	Resistência à Compressão Característica
Fct	Resistência do Concreto à Tração Direta
Fy	Resistência ao Escoamento
Fyd	Resistência ao Escoamento de Cálculo
Fyk	Resistência ao Escoamento Característica
Fstk	Resistência Característica à Ruptura
GPa	Giga Pascal
H	Altura
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-Força
kN	QuiloNewton
L	Comprimento
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
Rd	Resistência de Cálculo
Sd	Solicitação de Cálculo
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices

tf	Tonelada-força
3D	Tridimensional

LISTA DE SÍMBOLOS

ν	Coeficiente de Poisson
σ	Tensão Convencional
α	Coeficiente de Dilatação Térmica
Δ	Variação
ε	Deformação Convencional
η	Coeficiente de Aderência
γ_f	Coeficiente de Ponderação
γ_f^2	Coeficiente de Combinação de Ações
Ψ	Fator de Redução de Ações

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 HIPÓTESE DE PESQUISA	15
1.4 PREMISSAS	15
1.5 DELIMITAÇÕES.....	15
1.6 Delineamento da Pesquisa.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 CONCRETO ARMADO	17
2.1.1 Concreto	17
2.1.2 Aço	20
2.1.3 Ações	22
2.1.3.1 Ações permanentes.....	22
2.1.3.2 Ações variáveis	23
2.1.3.3 Ações excepcionais.....	23
2.1.4 Estados limites e segurança	23
2.1.4.1 Estado Limite Último.....	24
2.1.4.2 Estado Limite De Serviço	27
2.2 Elementos Estruturais	27
2.2.1 Fundações	28
2.2.2 Pilares	29
2.2.3 Vigas	29
2.2.4 Lajes	30
2.2.4.1 Lajes maciças.....	30
2.2.4.2 Lajes nervuradas	31
2.3 VEDAÇÕES VERTICAIS	31
2.3.1 Alvenaria convencional	32
2.3.2 Drywall	35
2.3.3 Comparativo entre alvenaria convencional e drywall	38
3 METODOLOGIA	39

3.1 OBJETO DE ESTUDO	39
3.2 PROJETO ESTRUTURAL.....	43
3.2.1 Parâmetros de projeto	43
3.2.2 Lançamento da estrutura.....	45
3.2.3 Dimensionamento final	50
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 DADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE.....	51
4.1.1 Deslocamento no topo da edificação	52
4.1.2 Carga vertical total	53
4.1.3 Peso do aço	55
4.1.4 Volume de concreto	56
4.5.1 Área de forma	57
4.2 ANÁLISE ECONÔMICA	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DETALHADA DO PAVIMENTO TIPO.....	68
APÊNDICE B – PLANTA DE FORMA DETALHADA DO PAVIMENTO TIPO.....	69

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia na área da engenharia civil é imprescindível estar em busca de processos construtivos mais eficientes, visando a diminuição de custos e a maior produtividade, sem deixar de se ter uma boa qualidade de construção.

Por muito tempo as vedações de grande parte das edificações eram executadas em alvenaria convencional, por se tratar de um material de grande custo-benefício, além de ter uma fácil execução. Com novos tipos de vedações sendo desenvolvidos, a tendência se inclina a substituir as vedações tradicionais por vedações que apresentam menor peso próprio (GARCIA, 2007).

A vedação vertical tem extrema importância em uma edificação, sendo um dos principais componentes da construção. Sua classificação é dada por sua função estrutural, de mobilidade, estruturação da edificação, modelo de execução e densidade superficial (SABBATINI, 2003).

Atualmente, a alvenaria convencional ainda é o método mais utilizado para vedações não estruturais na edificação, entretanto, a questão de sustentabilidade tem representado uma importância e relevância muito grande no Brasil. Por essa questão, o *drywall* é uma ótima alternativa de vedação, uma vez que ele gera menos resíduos ao final da obra, e assim se torna mais sustentável quando comparado à alvenaria

O *drywall* é constituído basicamente de perfis de aço galvanizados revestidos por chapas de gesso acartonado, podendo haver lãs minerais em seu interior para gerar um maior conforto termoacústico. As maiores vantagens desse tipo de vedação são: diminuição das cargas da estrutura, agilizada na execução além de gerar menor entulhos para a edificação (MITIDIERI, 2009).

Analisando uma edificação de múltiplos pavimentos, a racionalização das vedações verticais é de extrema importância para se reduzir o custo final da obra. Desta forma, o tipo de vedação utilizado na edificação tem um grande impacto na estrutura, dado que a redução da carga permanente pode provocar uma redução no dimensionamento dos elementos estruturais (BARROS, 1996).

O *drywall* pode proporcionar uma redução de até 14% no peso global da estrutura quando comparado à vedação em alvenaria convencional, diminuindo assim as deformações que ocorrem na edificação (EYE, 2015). De forma mais clara, a alvenaria convencional possui um peso específico de em média 180 kgf/m², enquanto

o *drywall* pode apresentar um peso de 42 kgf/m² atuante na estrutura global. (NUNAS, 2015).

Portanto, a fim de propor um entendimento mais claro sobre o uso e aplicação de cada sistema em situações específicas de projetos, desenvolveu-se este estudo.

1.1 PROBLEMA

Dentre os sistemas de vedação interna, alvenaria convencional e *drywall*, qual dos dois é mais viável na questão técnica e econômica?

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo principal a análise comparativa entre os dois sistemas de vedação interna, alvenaria convencional e *drywall*, a fim de melhorar a percepção sobre o uso e aplicação de cada sistema em situações específicas de projetos.

1.2.1 Objetivo geral

Determinar entre os dois métodos de vedação interna, alvenaria convencional e *drywall*, qual apresenta o melhor benefício técnico e econômico para o projeto a ser estudado.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos a seguir têm como finalidade demonstrar de forma mais detalhada o que foi desenvolvido no atual trabalho:

- a) analisar os resultados obtidos no dimensionamento da edificação com divisória interna em alvenaria convencional e em *drywall* de forma técnica e econômica, a fim de obter o deslocamento no topo da edificação, as cargas do projeto, o peso do aço, a área de fôrma e o volume de concreto da edificação a ser estudada.

1.3 HIPÓTESE DE PESQUISA

A vedação interna feita em alvenaria convencional tem um peso considerável sobre a estrutura. Por sua vez a vedação interna em drywall é mais leve. Sendo assim, se torna de interesse a pesquisa indicativa da viabilidade econômica e técnica entre os dois sistemas.

1.4 PREMISSAS

Para o presente projeto, a estrutura a ser estudada seguirá todas as normas técnicas brasileiras, de acordo com a ABNT.

1.5 DELIMITAÇÕES

As delimitações têm como finalidade adotar parâmetros para as atividades que foram realizadas neste estudo:

- a) mesmo projeto arquitetônico para as duas vedações;
- b) utilização dos mesmos materiais estruturais para os dois modelos;
- c) utilização da vedação externa, as paredes do elevador e as caixas das escadas em alvenaria convencional para os dois modelos;
- d) realização do comparativo entre alvenaria convencional e *drywall* somente nos pavimentos tipo.

1.6 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa tem como finalidade estipular as atividades que foram realizadas neste estudo

A primeira etapa de estudo se baseou em uma introdução ao assunto estudado, com informações e observações a respeito do tema.

A segunda etapa apresenta a revisão bibliográfica, na qual está evidenciado as características e conceitos da estrutura como um todo e dos dois sistemas de vedação estudados.

Na terceira etapa realizou-se o estudo da estrutura, com o auxílio do *software Multiplus CypeCAD*, para a análise e comparação da vedação interna em alvenaria convencional e em *drywall*.

Na quarta etapa analisou-se os resultados obtidos a partir do *software* e a partir disso, foi possível comparar os dois métodos de vedação estudados.

Já a quinta e última etapa se expõe a conclusão e as considerações finais realizadas com base em todo desenvolvimento da monografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO ARMADO

Atualmente o concreto armado tem sido um dos métodos construtivos mais utilizados no Brasil, tornando-se um tema de extrema importância para um engenheiro estrutural. Visando aumentar a durabilidade e a capacidade de resistência do mesmo, bem como seu desempenho, se torna contínuo a busca por novas tecnologias (SALLABERRY, 2005).

O conjunto de concreto e aço tem destaque para as estruturas, pois o aço implica ao concreto a resistência à tração, e o concreto, além de possuir uma boa resistência à compressão, protege a armadura contra a corrosão. É importante salientar que este tipo de combinação de materiais só é possível por haver uma boa aderência entre o concreto e a barra de aço, e que devido a esta aderência a deformação da barra de aço e do concreto é praticamente a mesma (VERÍSSIMO; CÉSAR JR, 1998).

2.1.1 Concreto

A resistência à compressão do concreto é maior que sua resistência à tração, havendo uma discrepância muito grande entre as duas resistências. Por ter uma fina camada porosa que ocorre devido ao acúmulo de água ao redor do agregado graúdo, chamada de zona de transição, o concreto apresenta características mecânicas distintas da pasta de cimento, sendo assim muito propenso a fissuração, e que, por conseguinte, o torna menor resistente à tração (ANDRADE, 2017).

A principal característica do concreto é a resistência, contudo, é preciso salientar que outras características também são relevantes, como a impermeabilidade, a durabilidade e a estabilidade de volume (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo a ABNT NBR 8953 (ABNT, 2015), é possível classificar o concreto em dois grupos, relacionado com a sua resistência característica à compressão (MPa). A Tabela 1 exemplifica de forma mais clara a divisão dos grupos de concreto estrutural.

Tabela 1 – Classes de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT (2015).

A respeito da qualidade do concreto, a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) exige que a classe de agressividade ambiental na qual a estrutura está submetida tem relação direta com a resistência à compressão na qual o projetista deve adotar. A Tabela 2 mostra o valor mínimo a ser utilizado em uma edificação de concreto armado deve ser igual ou maior que a classe C20, onde a resistência à compressão deve ser maior ou igual a 20 MPa, e no caso de concreto protendido a classe a ser usada é C25.

Tabela 2 – Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	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

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

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT (2014).

Outro ponto importante para o projeto de uma estrutura em concreto armado, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), é o módulo de elasticidade do concreto. O mesmo relaciona a deformação do concreto pela ação das tensões a qual é submetido. De acordo com Carvalho (2012), a análise elástica do projeto estrutural é realizada

através do módulo de elasticidade secante do concreto, a fim de determinar os esforços solicitantes da estrutura e verificar os estados limites de serviço. A Tabela 3 apresenta valores estimados do módulo de elasticidade do concreto (E_{ci}), do módulo de deformação secante do concreto (E_{cs}), considerando o uso de granito como agregado graúdo.

Tabela 3 – Valor estimado do módulo de elasticidade em função da resistência à compressão do concreto

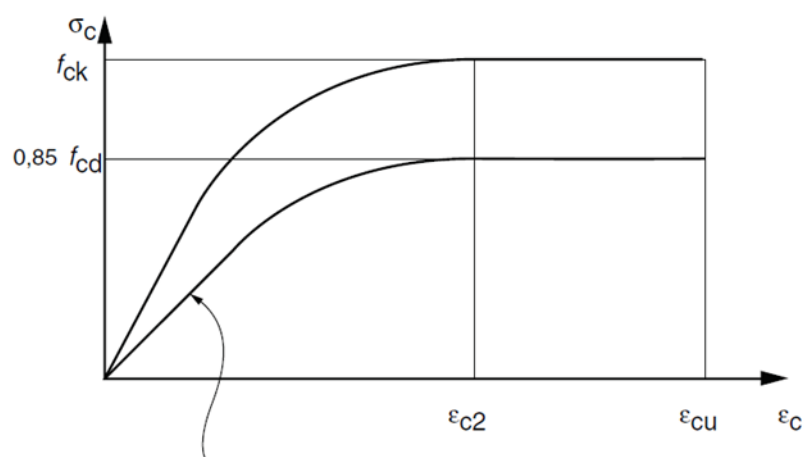
Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47

Fonte: ABNT (2014).

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), o coeficiente de Poisson (ν), mais um assunto relevante para projetistas, é a relação entre os valores da deformação transversal e da longitudinal. Para tensões de compressão menores que $0,5 F_c$ (resistência à compressão do concreto) e tensões de tração menores que F_{ct} (resistência do concreto à tração direta), o coeficiente de Poisson (ν) pode ser igual a 0,2.

Analisando o estado limite último, a ABNT NBR 6118 (2014) utiliza o diagrama de tensão-deformação, conforme Figura 1, e, segundo Almeida Filho (2002), tal diagrama apresenta inicialmente um trecho linear, na qual o concreto apresenta um comportamento elástico para baixas tensões, com a deformação sendo proporcional à tensão. Após isso, se inicia a curvatura, onde o concreto passa por um ponto de máxima tensão.

Figura 1 – Diagrama tensão-deformação



Fonte: Adaptado de ABNT (2014).

$$\sigma_c = 0,85 f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \text{ Para } f_{ck} \leq 50 \text{MPa: } n = 2 \quad (01)$$

$$\text{Para } f_{ck} > 50 \text{MPa: } n = 1,4 + 23,4 \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad (02)$$

2.1.2 Aço

O teor de carbono dos aços utilizados na construção civil varia entre 0,18% e 0,25%. As principais características que o fazem ser muito utilizado nessa área são: ductilidade, resistência à tração, compressão, flexão e torção, resistência à abrasão, desgaste e impacto e incombustibilidade. Quando submetido à condições adequadas, também resiste a agressões químicas, intempéries e variação de temperatura. Em consequência de o concreto apresentar baixa resistência à tração, o uso do aço é fundamental para a estrutura, formando assim o concreto armado. O concreto armado dimensionado de forma correta resiste à maioria dos tipos de solicitação, além de aumentar a resistência do concreto (PINHEIRO *et al.*, 2010).

Segundo a ABNT NBR 7480 (2007), é possível separar em três categorias diferentes os aços utilizados no Brasil, sendo o CA-25 e o CA-50 classificados como barra e o CA-60 classificado como fios. Cada categoria diz respeito ao seu valor característico de resistência ao escoamento.

Pela ABNT NBR 6118 (2014), existem três tipos de superfícies aderentes que são consideradas importantes para o cálculo estrutural. Os fios e barras podem ser lisos, entalhados ou salientes, como observado na Tabela 4.

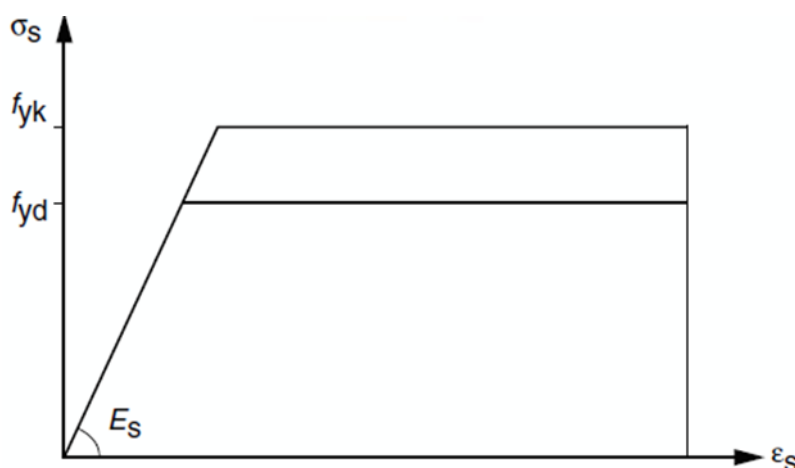
Tabela 4 – Valor do coeficiente de aderência η_1

Tipo de superfície	η_1
Lisa	1,0
Entalhada	1,4
Nervurada	2,25

Fonte: ABNT (2014).

Assim como em concreto, a ABNT NBR 6118 (2014), analisa o estado limite último do aço pela Figura 2, onde é possível obter o diagrama tensão-deformação, bem como os valores da tensão limite de escoamento (f_{yk}), da resistência característica à ruptura (f_{stk}) e módulo de elasticidade (E_s). Ainda, caso não seja possível obter o módulo de elasticidade do aço pelo diagrama, pode-se usar o valor de 210 GPa.

Figura 2 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas



Fonte: Adaptado de ABNT (2014).

Visando evitar a corrosão da armadura, a ABNT NBR 6118 (2014) exige um cobrimento mínimo do aço, de acordo com a classe de agressividade do ambiente na qual a estrutura se situa, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Relação entre a classe de agressividade ambiental e cobertura nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$

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

^a Cobertura nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobertura da armadura passiva deve respeitar os coberturas para concreto armado.

^b 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 cobertura nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

^c 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 coberturas da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobertura nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

Fonte: ABNT (2014).

2.1.3 Ações

Segundo a ABNT NBR 8681 (2004), as ações são qualquer influência que pode gerar qualquer tipo de tensão em uma estrutura. Essas ações dividem-se em ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

2.1.3.1 Ações permanentes

A ABNT NBR 8681 (2004) classifica as ações permanentes em dois tipos:

- ações permanentes diretas: os pesos próprios dos elementos da estrutura, os pesos dos equipamentos fixos da edificação e os empuxos devidos ao peso próprio de terras e de outras ações permanentes aplicadas;
- ações permanentes indiretas: a retração dos materiais, a protensão e os recalques de apoio.

2.1.3.2 Ações variáveis

Segundo a ABNT NBR 8681 (2004), ações variáveis podem ser as cargas acidentais da edificação, assim como os efeitos do vento, a dilatação de temperatura, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, entre outras. Pela probabilidade de ocorrência dessas ações, pode-se classificar ações variáveis em dois tipos:

- a) ações variáveis normais: são ações que tem uma probabilidade maior de ocorrer, sendo seu uso obrigatório para dimensionamento do projeto estrutural;
- b) ações variáveis especiais: são ações da natureza, como ações sísmicas, por exemplo. Essas ações devem ser definidas para situações especiais na qual as estruturas são expostas.

2.1.3.3 Ações excepcionais

De acordo com a ABNT NBR 8681 (2004), pode-se considerar ações excepcionais explosões, choques entre dois ou mais objetos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

2.1.4 Estados limites e segurança

Cardoso (2013) enuncia que quando alguma estrutura não apresenta o desempenho correto e desejável, pode-se afirmar que a edificação não satisfaz as condições previstas nas normas vigentes, portanto, é possível falar que a mesma atingiu o estado limite. Tal estado limite é dividido em Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço.

Segundo a ABNT NBR 8681 (2004), estado limite último é o “Estado que, pela sua simples ocorrência, determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção”. Ainda de acordo com a ABNT NBR 8681 (2004), estado limite de serviço pode ser definido como o “Estado que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causa efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura”.

2.1.4.1 Estado Limite Último

De acordo com a ABNT NBR 8681 (2004), estado limite último é aquele em que está a edificação está diretamente relacionado ao colapso ou ruína estrutural da mesma, determinando assim a paralisação do uso da estrutura. A ABNT NBR 6118 (2014) diz que é necessário majorar as solicitações características de cálculo para o dimensionamento estrutural. A Tabela 6 apresenta os coeficientes de ponderação γ_f de ações para o ELU.

Tabela 6 – Coeficientes de ponderação γ_f

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde

D é desfavorável, *F* é favorável, *G* representa as cargas variáveis em geral e *T* é a temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: ABNT (2014).

Já para atuação simultânea de duas ou mais ações na estrutura, a Tabela 7 mostra os coeficientes de combinação $\gamma_f 2$ para o ELU.

Tabela 7 – Coeficiente de combinação de ações $\gamma_f 2$

Ações		$\gamma_f 2$		
		ψ_0	ψ_{1a}	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.
^b Edifícios residenciais.
^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: ABNT (2014).

O estado limite último é devidamente atendido quando a condição de cálculo $R_d \geq S_d$ é atendida. Partindo desse princípio, R_d é o esforço resistente considerado estabilizante, já S_d é o valor dos esforços atuantes na estrutura (VERÍSSIMO; CÉSAR JR. 1998). A Tabela 8 apresenta as combinações na qual o ELU deve atender visando a segurança da estrutura.

Tabela 8 – Combinações últimas

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado ^a	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} F_{\epsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \psi_{0\epsilon} F_{\epsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{k\max}$ e $P_{k\min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_s, \text{ min, onde: } Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} F_{\epsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \psi_{0\epsilon} F_{\epsilon qk}$
Excepcionais ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} F_{\epsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{\epsilon q} \psi_{0\epsilon} F_{\epsilon qk}$

onde

- F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última;
- F_{gk} representa as ações permanentes diretas;
- $F_{\epsilon k}$ representa as ações indiretas permanentes como a retração $F_{\epsilon gk}$ e variáveis como a temperatura $F_{\epsilon qk}$;
- F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;

$\gamma_g, \gamma_{\epsilon g}, \gamma_q, \gamma_{\epsilon q}$ ver Tabela 11.1;

$\psi_{0j}, \psi_{0\epsilon}$ ver Tabela 11.2;

F_{sd} representa as ações estabilizantes;

F_{nd} representa as ações não estabilizantes;

G_{sk} é o valor característico da ação permanente estabilizante;

R_d é o esforço resistente considerado estabilizante, quando houver;

G_{nk} é o valor característico da ação permanente instabilizante;

$$Q_{nk} = Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \psi_{0j} Q_{jk};$$

Q_{nk} é o valor característico das ações variáveis instabilizantes;

Q_{1k} é o valor característico da ação variável instabilizante considerada principal;

ψ_{0j} e Q_{jk} são as demais ações variáveis instabilizantes, consideradas com seu valor reduzido;

$Q_{s,\min}$ é o valor característico mínimo da ação variável estabilizante que acompanha obrigatoriamente uma ação variável instabilizante.

^a No caso geral, devem ser consideradas inclusive combinações onde o efeito favorável das cargas permanentes seja reduzido pela consideração de $\gamma_g = 1,0$. No caso de estruturas usuais de edifícios, essas combinações que consideram γ_g reduzido (1,0) não precisam ser consideradas.

^b Quando F_{q1k} ou F_{q1exc} atuarem em tempo muito pequeno ou tiverem probabilidade de ocorrência muito baixa, ψ_{0j} pode ser substituído por ψ_{2j} . Este pode ser o caso para ações sísmicas e situação de incêndio.

2.1.4.2 Estado Limite De Serviço

Segundo a ABNT NBR 8681 (2004), o estado limite de serviço está diretamente relacionado com o conforto, estética, durabilidade e boa utilização da estrutura de acordo com o seu uso. A Tabela 9 apresenta a combinação na qual a edificação deve ser atendida.

Tabela 9 – Combinações de serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_2 F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_2 F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + F_{q1k} + \Sigma \psi_1 F_{qjk}$

onde

$F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas;

ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS;

ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

Fonte: ABNT (2014).

2.2 Elementos Estruturais

De acordo com Rocha (2020), os elementos estruturais básicos (fundações, pilares, vigas e lajes) têm como intuito estabelecer a sustentação da edificação. Por muitas vezes, quando a estrutura for de concreto armado, os elementos estruturais devem ser projetados e executados com aço e concreto.

O projeto estrutural de uma edificação inclui o arranjo adequado dos vários elementos estruturais do edifício, com o intuito de garantir que ele possa atender ao seu propósito de projeto.

Por haver uma grande complexidade nas construções atualmente, é de suma importância o uso adequado dos elementos estruturais, a fim de se obter um conjunto melhor otimizado e mais resistente. Um arranjo estrutural coerente necessita, obrigatoriamente, atender todos os aspectos relacionados à segurança, durabilidade, e aos pertencentes à parte arquitetônica, na qual engloba a funcionalidade e a estética. A estrutura deve atender os critérios de segurança contra todos os estados limites (ALVA, 2007).

Segundo Souza e Reis (2008), é de extrema importância que as estruturas apresentem flexibilidade e engaste, de acordo com seus aspectos. Uma edificação somente com vínculos flexíveis gera uma instabilidade estrutural, em contrapartida, um projeto somente com vínculos engastados torna a estrutura rígida, gerando um custo maior de execução.

2.2.1 Fundações

As fundações são elementos de grande influência para uma estrutura, pois tem como principal finalidade transmitir todas as cargas da edificação para o solo. O projeto das mesmas deve seguir todas as normas vigentes e ser estudado e planejado buscando a fundação ideal para desempenharem a melhor função em cada caso específico (AZEREDO, 1997).

De acordo com Pereira (2018), as fundações podem ser divididas em dois tipos:

a) fundações superficiais: as cargas da edificação são transmitidas ao solo pela pressão distribuída sob a base dos elementos geométricos de fundação. Por ser uma fundação mais superficial, na maior parte das vezes é utilizada em terrenos com poucas escavações no solo, não havendo a necessidade de usar grandes maquinários. Como exemplos de fundações superficiais é possível citar os radier, as sapatas, os blocos, as sapatas associadas;

b) fundações profundas: as cargas da superestrutura são transmitidas ao terreno pela base, pela superfície lateral, ou pela combinação de ambas. São mais utilizadas onde o solo não apresenta uma tensão admissível muito alta e as cargas

atuantes da edificação são relativamente altas. São exemplos de fundações profundas as estacas e os tubulões.

2.2.2 Pilares

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), pilares são elementos lineares de eixo reto, normalmente alocados na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes. A menor das dimensões da seção transversal do pilar, independentemente de sua forma, não pode ser menor que 19 cm.

Se tratando da questão de segurança e da capacidade resistente, os pilares são os elementos estruturais mais importantes da edificação. As principais funções do pilar são, de forma direta: influenciar na estabilidade global da estrutura, seja de forma isolada, ou em conjunto com as vigas dos pavimentos, e transferir as cargas que atuam na edificação para a fundação (BASTOS, 2006).

Quanto a classificação dos pilares, os mesmos se dividem entre pilares de canto, pilares de borda e pilares de centro. Essa classificação depende da sua posição na estrutura e dos esforços que são solicitados pelos mesmos. Pode-se classificar os pilares também pelo índice de esbelteza, onde dependendo do valor, podem ser pilares curtos, pilares mediantemente esbeltos, pilares esbeltos e pilares muito esbeltos, onde cada um tem uma característica distinta para o dimensionamento estrutural (PINHEIRO; SCADELAI, 2005).

2.2.3 Vigas

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. A seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm. Em casos específicos, o mínimo absoluto pode chegar a 10 cm. A principal função das vigas é vencer vãos e receber as cargas provenientes das lajes, paredes, outras vigas, e transferir aos apoios, que na maior parte das vezes são os pilares (PINHEIRO *et al.*, 2010).

Normalmente, o que determina as dimensões das vigas é o projeto arquitetônico. A altura, na maior parte das vezes, obedece a regra de 1/10 do vão teórico da viga (PINHEIRO; MUZARDO e SANTOS, 2003).

Existem dois tipos de ações que podem estar atuando nas vigas: as concentradas e ou as distribuídas. Podem atuar também na viga o momento torsor, além de forças de tração ou compressão. As vigas, juntamente com pilares e lajes atuam diretamente no contraventamento da estrutura, viabilizando assim a estabilidade global contra ações verticais e horizontais (BASTOS, 2006).

2.2.4 Lajes

De acordo com Filho (2014), lajes são elementos estruturais planos, onde na maior parte das vezes, cargas normais atuam sobre a mesma. Ainda Bastos (2006) acrescenta que uma parcela das cargas das ações permanentes e variáveis também atuam sobre as lajes. Lajes retangulares podem ser classificadas de dois modos:

- a) laje armada em uma direção: a relação entre o maior vão (b) e o menor vão (a) é superior a 2;
- b) laje armada em duas direções (em cruz): a relação entre o maior vão (b) e o menor vão (a) é inferior a 2.

2.2.4.1 Lajes maciças

Laje maciça se caracteriza por ter toda a sua espessura preenchida por concreto, contendo também armaduras longitudinais para resistir à flexão, além de, em alguns casos específicos, conter também armaduras transversais. (BASTOS, 2021). Por apresentar um peso próprio relativamente alto, além de conter uma capacidade portante baixa, a laje maciça é normalmente usada em vãos menores, que variam entre 3 e 6 m (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2002).

Segundo Bastos (2021), a laje lisa e a laje cogumelo também podem ser denominadas de laje maciça, porém, a grande diferença é que nessas lajes, diferentemente da laje maciça convencional, as cargas atuantes são transferidas de forma direta aos pilares, não havendo a necessidade de usar vigas para realizar esta função. Normalmente, a espessura dessas lajes tem que ser no mínimo 16 cm.

2.2.4.2 Lajes nervuradas

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, onde é possível utilizar material inerte. Ainda, segundo Bastos (2021), a laje nervurada é muito utilizada quando existe a necessidade de vencer grandes vãos e ou resistir a ações verticais. As nervuras são responsáveis por proporcionar a rigidez e resistência necessária para as lajes. Assim como as lajes maciças, as lajes nervuradas também podem ser armadas em uma direção (unidirecional), ou em duas direções (em cruz ou bidirecional), justamente por haver nervuras em uma ou mais de uma direção.

A laje nervurada é formada pela mesa (superfície plana da laje) e pela nervura, formando assim um T, proporcionando assim uma grande resistência aos momentos fletores, uma vez que os mesmos comprimem a região da mesa e tracionam a parte da nervura (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

2.3 VEDAÇÕES VERTICAIS

A alvenaria de vedação se caracteriza por ser projetada para resistir apenas ao seu peso próprio. A vedação externa tem como principal finalidade proteger a estrutura de agentes externos, como ventos e chuvas. Já a vedação interna tem como principal objetivo dividir os ambientes internos (FRANCO, 1998). Como objetivo secundário, Sabbatini (2003) afirma que o desempenho térmico e acústico, a proteção contra o fogo e a vedação das instalações hidráulicas e elétricas da edificação são significativas para a estrutura como um todo.

De acordo com Sabbatini (2003), pode-se classificar as vedações internas em resistente (autoportante) e de vedação. A vedação autoportante tem função estrutural, pois além do seu peso próprio ela suporta o peso de cargas. Já a alvenaria de vedação não tem função estrutural na edificação, e a principal função é dividir os ambientes internos.

É possível classificar as vedações internas quanto à mobilidade também, sendo elas fixas, desmontáveis e móveis. As fixas são aquelas que quando prontas, não é possível haver movimentação ou realocação das mesmas, podendo citar como exemplo a alvenaria. As desmontáveis são aquelas que é possível alterar o local das mesmas, tendo somente que desmontar e realocar no lugar desejado, como por

exemplo as paredes em *drywall*. Já as móveis podem ser transportadas e mudadas de lugar a qualquer momento, sem a necessidade de desmontar, podendo citar os biombos como exemplo (SABBATINI, 2003).

Segundo Sabbatini (2003), as vedações internas podem ser classificadas quanto à estruturação também, onde podem ser classificadas como auto-suporte e estruturada. As estruturadas precisam de estrutura complementar para se manterem estáveis, já as auto-suporte tem a capacidade de se sustentar sem uma estrutura auxiliar.

A vedação da edificação em bloco cerâmico é a mais utilizada no Brasil atualmente, porém, para vedação interna, o *drywall* tem sido muito utilizado ultimamente. Os motivos são diversos, mas pode-se destacar a velocidade de execução, a redução de resíduos gerados em comparação com a alvenaria, a facilidade na manutenção, e a redução do peso próprio da estrutura, reduzindo o uso de armaduras na edificação em até 15% (SANTIN, 2000).

Pela ABNT NBR 15575 (2013), a norma estabelece critérios a serem atendidos pela edificação, com o intuito de gerar conforto e segurança para as pessoas que usufruem da estrutura. A parte quatro da ABNT NBR 15575 (2013) diz que as vedações externas e internas devem, obrigatoriamente, atender aos requisitos da norma referente ao desempenho térmico, acústico e estrutural, além de respeitarem a questão de estanqueidade e terem certa resistência ao fogo.

2.3.1 Alvenaria convencional

Atualmente, a alvenaria convencional é o material mais utilizado para a vedação vertical em nosso país. (SIMAS, 2011). Segundo Ramalho e Corrêa (2003), as primeiras edificações de múltiplos pavimentos a utilizarem a alvenaria convencional como método construtivo surgiu em 1966 no Brasil. De acordo com Sabbatini (2003), os principais blocos utilizados para a alvenaria convencional são:

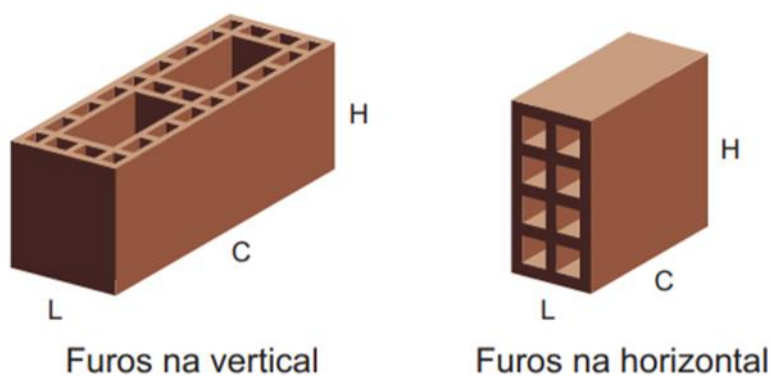
- a) bloco de concreto;
- b) bloco cerâmico;
- c) bloco sílico-calcário;
- d) bloco de concreto celular;
- e) bloco de solo cimento.

Segundo Marinoski (2011), as principais características que as alvenarias devem apresentar são:

- a) isolamento térmico e acústico;
- b) resistência à umidade e dilatações térmicas;
- c) boa resistência mecânica e alta dureza.

A maior diferença entre os blocos de vedação e estrutural é a disposição dos furos dos mesmos. Na vedação, os furos dos mesmos estão dispostos paralelamente à superfície de assentamento, enquanto na alvenaria estrutural os furos são verticais, perpendiculares à superfície de assentamento, conforme exemplifica a Figura 3 (MILITO, 2004).

Figura 3 – Representação dos blocos cerâmicos



Fonte: Thomaz *et al.* (2010).

Seguindo os requisitos da ABNT NBR 15270 (2017), a Tabela 10 apresenta as características geométricas, físicas e mecânicas que os blocos cerâmicos de vedação devem obrigatoriamente apresentar. Já a Tabela 11 apresenta as dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação.

Tabela 10 – Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação

Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	± 5 mm (largura, altura ou comprimento)
Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	± 3 mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	≥ 6 mm
Espessura das paredes externas dos blocos	≥ 7 mm
Desvio em relação ao esquadro	≤ 3 mm
Planeza das faces	Flecha ≤ 3 mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ MPa (para furos na horizontal)
	$\geq 3,0$ MPa (para furos na vertical)
Índice de absorção de água (AA)	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Fonte: Thomaz *et al.* (2010).

Tabela 11 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação

L x H x C	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco	½ Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M		11,5	11,5	24
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M	14		24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M	19		19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M			19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

Fonte: Thomaz *et al.* (2010).

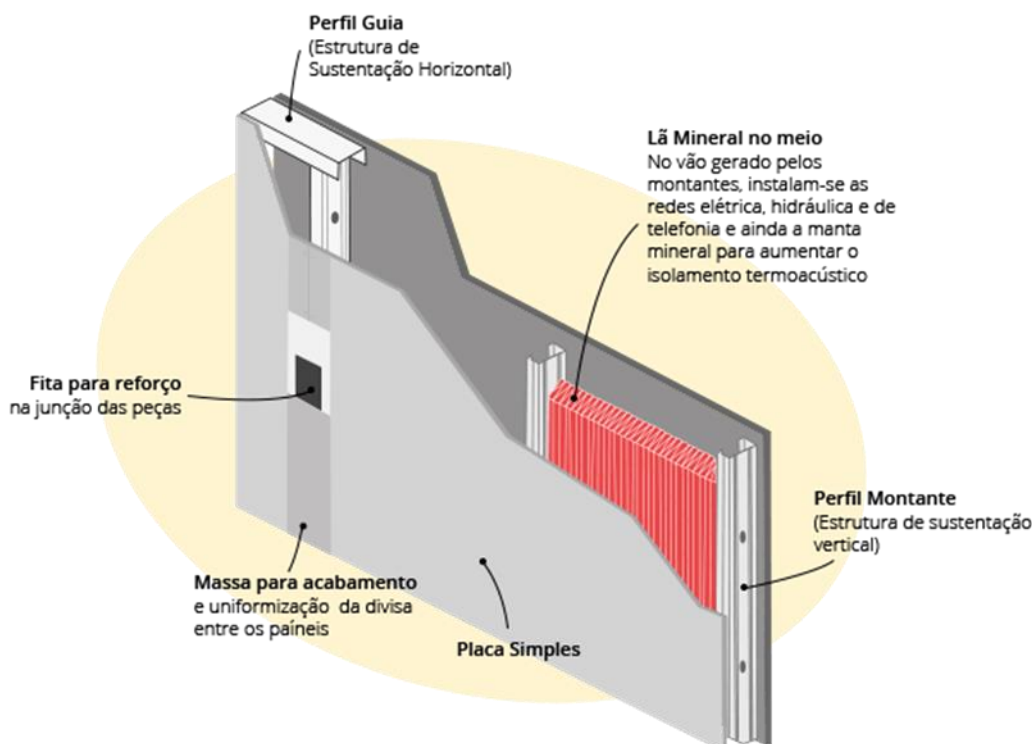
A vedação em si, tanto externa como interna, na maioria das vezes feita em alvenaria convencional, representa apenas 3 a 6% do custo total da edificação, porém, a racionalização e industrialização tem um papel importante na obra como um todo, pois pode haver um aumento na produtividade e uma redução de problemas patológicos futuros (BARROS, 1996). A execução de uma vedação em alvenaria convencional gera muitos resíduos devido aos cortes necessários para embutir as instalações elétricas e hidráulicas, o que nos dias atuais têm sido um problema grande, já que existe um debate muito grande sobre a diminuição de resíduos que uma obra produz (SILVA, 2009).

2.3.2 *Drywall*

No Brasil, o *drywall* começou a ser mais conhecido em 1970, porém, a partir de 1995 o material acaba tendo um uso maior nas edificações. (SABBATINI, 1998). O *drywall* possui uma boa resistência à compressão e à maleabilidade, além de ser versátil e de rápida instalação (RODRIGUES, 2013).

De acordo com Sabbatini (2018), uma parede em *drywall* é composta em sua estrutura por perfis verticais de aço galvanizado ou madeira, tendo um revestimento em gesso acartonado fixados na estrutura metálica, além de ter em seu interior o uso de lã mineral, visando o conforto termo acústico, conforme apresenta a Figura 4. Por possuir espessuras menores quando comparados com a alvenaria convencional, é possível ter um ganho de até 4% de área útil por unidade que utiliza deste método (LABUTO, 2014).

Figura 4 – Especificação de uma parede em *drywall*



Fonte: Alsigesso (2020).

Segundo Losso (2004), o peso próprio do gesso acartonado é menor em comparação com a alvenaria convencional, reduzindo assim o peso da estrutura global. Se tratando da execução das instalações elétricas e hidráulicas principalmente, a execução das mesmas é facilitada, uma vez que não é preciso quebrar nada, apenas embutir entre as chapas de gesso acartonado da parede.

De acordo com Gypsum (2012), existem três tipos de chapas de gesso utilizadas atualmente na construção civil:

- a) *standard*: é a chapa tradicional branca, utilizada em ambientes secos e internos;
- b) resistente à umidade: é a chapa verde, utilizada em ambientes úmidos, normalmente externos;
- c) resistente ao fogo: é a chapa vermelha, utilizada normalmente em locais específicos em que é preciso atender aos requisitos de propagação de incêndio.

Quanto às características geométricas, físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado, a ABNT NBR 14715 (2021) apresenta os parâmetros a serem

seguidos, visando sempre um desempenho satisfatório quando utilizado nas edificações, conforme a Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12 – Características geométricas das chapas de gesso acartonado a serem seguidas

Característica geométrica		Tolerância	Limite	
Espessura	9,5 mm	± 0,5 mm	-	
	12,5 mm		-	
	15,0 mm		-	
Largura		+ 0 / - 4 mm	Máximo de 1 200 mm	
Comprimento		+ 0 / - 5 mm	Máximo de 3 600 mm	
Esquadro		≤ 2,5 mm/m de largura	-	
Rebaixo ¹⁾	Largura	Mínimo	-	40 mm
		Máximo	-	80 mm
	Profundidade	Mínimo	-	0,6 mm
		Máximo	-	2,5 mm

¹⁾ A borda rebaixada deve estar situada na face da frente da chapa e suas largura e profundidade devem ser medidas de acordo com a NBR 14716.

Fonte: ABNT (2021).

Tabela 13 – Limites físicos e mecânicos das chapas de gesso acartonado a serem seguidos

Determinação		Limites		
		Espessura da chapa mm		
		9,5	12,5	15,0
Densidade superficial de massa kg/m ²	Mínimo	6,5	8,0	10,0
	Máximo	8,5	12,0	14,0
	Varição máxima em relação à média da amostra de um lote	± 0,5		
Resistência mínima à ruptura na flexão N	Longitudinal ¹⁾	400	550	650
	Transversal ²⁾	160	210	250
Dureza superficial determinada pelo diâmetro máximo mm		20		
Absorção máxima de água para chapa resistente à umidade (RU) %		5		
Absorção superficial máxima de água para chapa resistente à umidade (RU), tanto para a face da frente, quanto para a face do verso (característica facultativa) g/m ²		160		

¹⁾ Amostra com a face da frente virada para baixo. Carga aplicada na face do verso.

²⁾ Amostra com a face da frente virada para cima. Carga aplicada na face da frente.

Fonte: ABNT (2021).

2.3.3 Comparativo entre alvenaria convencional e *drywall*

De acordo com Braga e Silva (2017), as duas vedações têm grandes diferenças entre si, e a escolha quanto a sua utilização decorre a fatores como: propriedades da edificação, local de aplicação de cada material, necessidades do projeto, aceitação dos clientes, dentre outros. O Quadro 1 apresenta um comparativo detalhado entre a alvenaria convencional e o *drywall*.

Quadro 1 – Comparativo entre alvenaria convencional e *drywall*

	Drywall	Alvenaria de blocos cerâmicos
Estrutura	Menor peso das paredes, reduzindo a carga estrutural.	Maior peso das paredes, gerando maiores esforços na estrutura.
Área útil	Ganho de até 4% na área útil pela redução nas espessuras de parede.	Espessuras maiores e com poucas alternativas.
Mão de obra	Maior produtividade, maior quantidade de metros quadrados/dia com menor número de trabalhadores.	Menor produtividade, menor quantidade de metros quadrados/dia com maior número de trabalhadores.
Flexibilidade de layout	Paredes podem ser flexibilizadas facilmente.	Paredes com pouca flexibilização depois de prontas.
Desperdício	Perda máxima de 5% do material.	Perda de até 30% do material.
Acabamento	Aceita todo tipo de acabamento, superfície uniforme.	Necessárias correções para receber qualquer acabamento.
Fixação de objetos	Deve-se reforçar a estrutura para a utilização de objetos mais pesados, além de possuir menor resistência mecânica.	Por possuir maior resistência mecânica, não é necessário reforçar a estrutura, além de poder utilizar qualquer tipo de objeto.
Desempenho acústico	Isolamento médio 50dB (com lã mineral)	Isolamento médio 43dB.
Espessura Final	Espessura variável, dependendo da necessidade e do tipo de placa, espessura final de até 98mm.	Em geral 150mm.
Sustentabilidade	Gera menos resíduos, além de ser mais sustentável.	Gera mais resíduos e agride mais o meio ambiente.

Fonte: Adaptado de Arquitetura e Construção (2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente estudo tem como objetivo principal abordar os tópicos acerca dos métodos empregados na comparação entre os sistemas de vedação interna, além de apresentar os parâmetros utilizados para dimensionamento dos mesmos. A análise foi realizada através do lançamento da edificação objeto de estudo no *software Multiplus CypeCAD*.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O projeto arquitetônico escolhido para o desenvolvimento do estudo foi elaborado pelo Engenheiro Civil Ronaldo Scaravonatti, e a edificação fica situada na Rua Ângelo Marcon, bairro São Roque, na cidade de Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, onde a Figura 5 ilustra a estrutura.

Figura 5 – Fachada da edificação

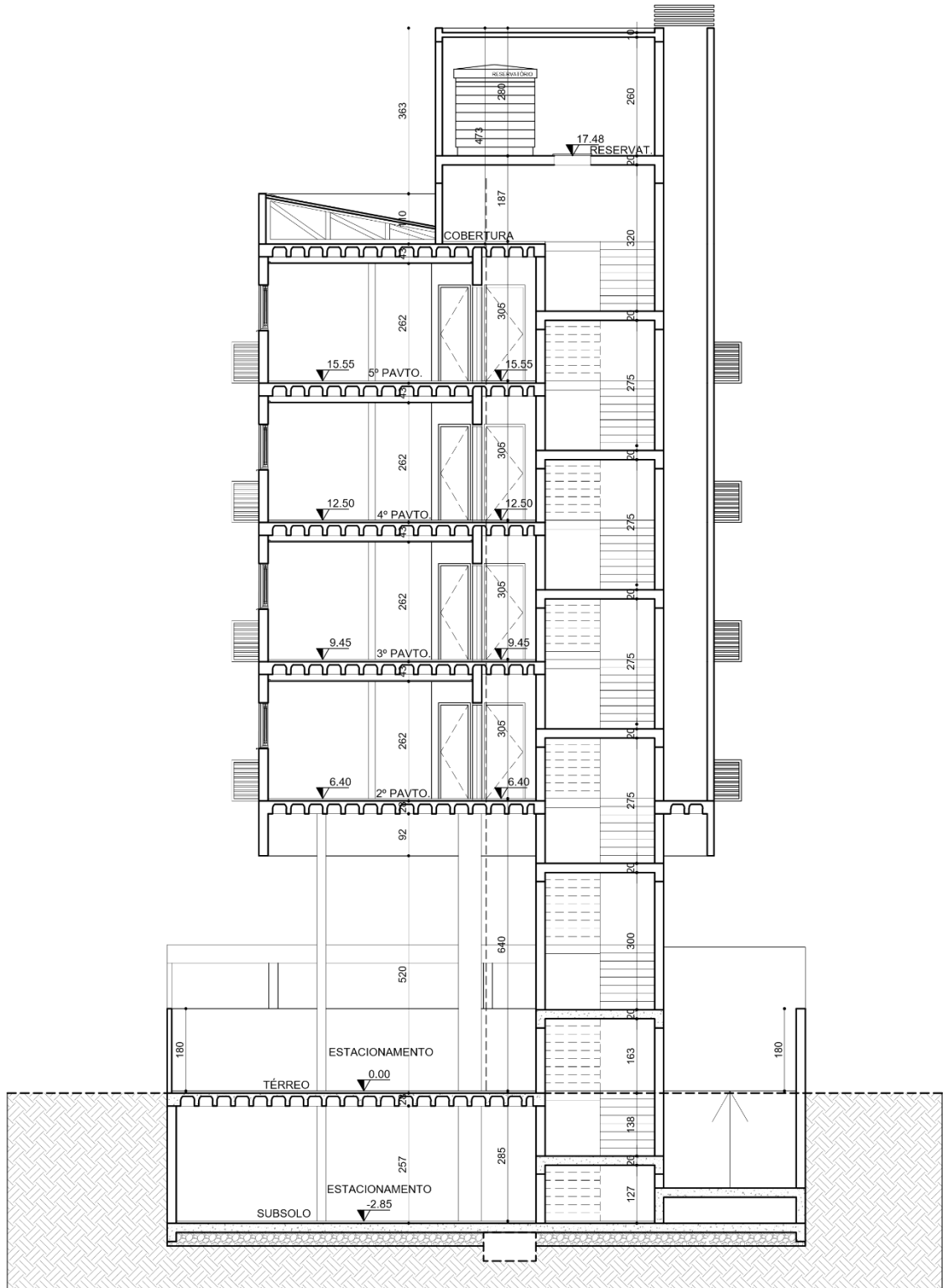


Fonte: Ronaldo Scaravonatti (2021)

A edificação de uso misto (comercial e residencial) possui 10 pavimentos, divididos em: subsolo, térreo, mezanino do térreo, tipo 1 ao tipo 4, pavimento de

cobertura, pavimento de reservatório e cobertura do reservatório. Assim, totalizando uma área de 2.015,19 m². A geometria vertical pode ser vista pelo corte arquitetônico da estrutura, conforme Figura 6.

Figura 6 – Corte arquitetônico

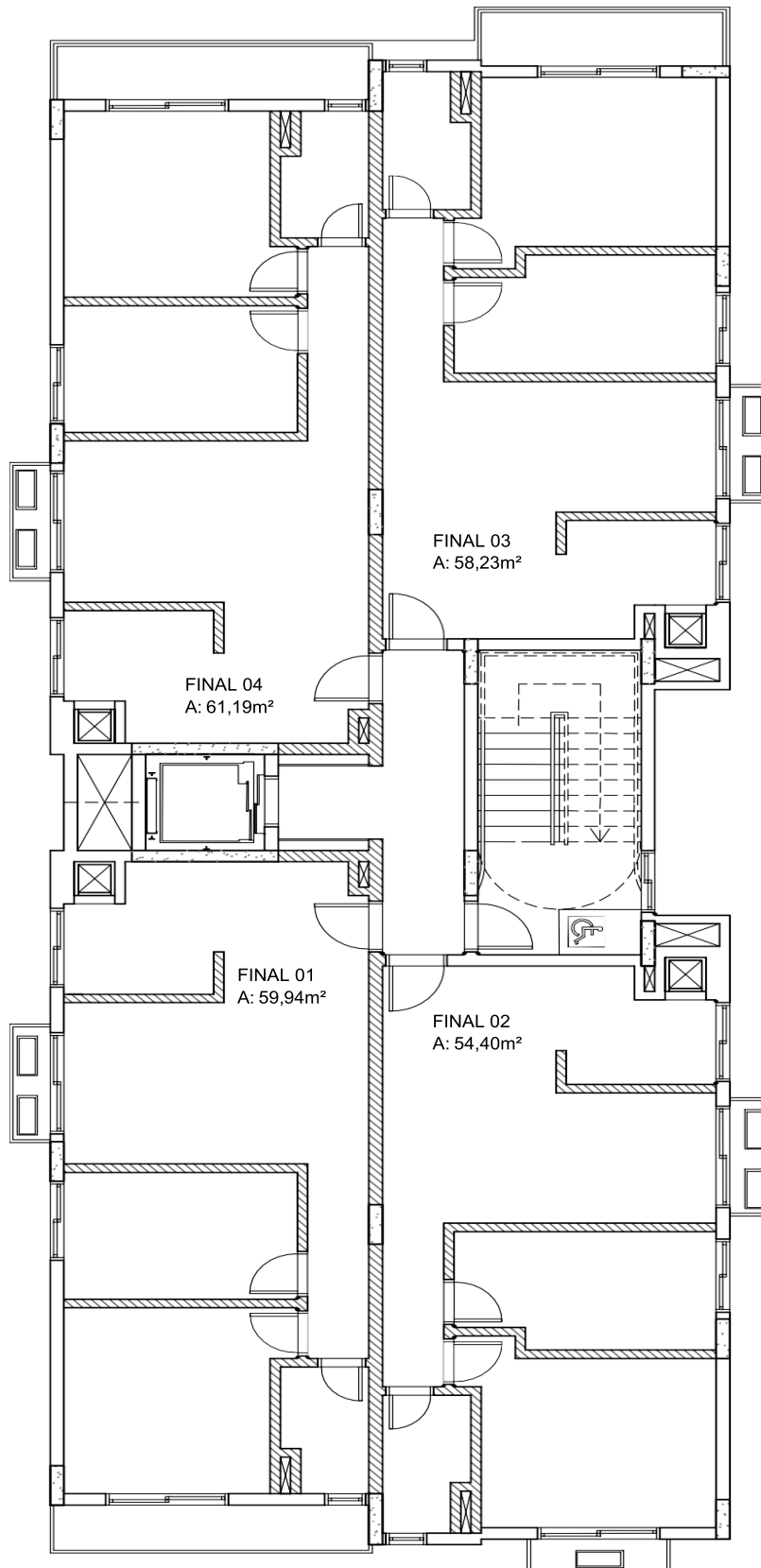


Fonte: Ronaldo Scaravonatti (2021).

O pavimento subsolo possui 11 vagas de garagem, totalizando uma área de 439,03 m². No pavimento térreo, há 6 vagas de garagem e uma sala comercial com pé direito duplo e mezanino, totalizando 461,64 m². Os pavimentos tipos possuem 4 apartamentos por andar, assim totalizando uma área de 263,46 m². Todos os apartamentos possuem 2 dormitórios, 1 banheiro, sala de estar e cozinha integrada com a área de serviço. Os apartamentos de final 01 possuem 59,94 m², já os apartamentos de final 02 tem 54,40 m², partindo para os apartamentos de final 03, os mesmos apresentam área de 58,23 m², e por fim, os apartamentos de final 04 possuem 61,19 m². Já o pavimento de cobertura possui uma área de 30,54 m² e o pavimento dos reservatórios abrange uma área de 30,14 m². Os pavimentos que serão objeto do presente estudo serão os pavimentos tipo e a planta baixa pode ser vista pela Figura 7, onde as paredes identificadas com hachura foram modificadas para a análise de ambos os projetos. Ainda, o Apêndice A apresenta a planta baixa do pavimento tipo de forma detalhada.

A respeito dos métodos construtivos empregados, as lajes dos pavimentos subsolo, dos pavimentos tipo e de cobertura são nervuradas, sendo uma alternativa mais rápida e prática, além de ser mais indicada para vencer grandes vãos. Já no térreo e mezanino utilizou-se tanto laje nervurada como laje maciça, visando adotar a melhor laje para cada caso específico apresentado no projeto estrutural. Quanto aos blocos cerâmicos, utilizou-se dois tipos, o primeiro possui uma medida de 14x19x19 e o segundo 11,5x19x19. A escolha se deve pela espessura das paredes, já que as paredes externas e de divisórias de apartamentos tem 20 cm de espessura, e as paredes internas possuem 15 cm de espessura.

Figura 7 – Planta baixa pavimento tipo



PLANTA BAIXA - TIPO (4x)

A=263,46m²

Fonte: Ronaldo Scaravonatti (2021).

3.2 PROJETO ESTRUTURAL

3.2.1 Parâmetros de projeto

O primeiro passo realizado no *software* foi inserir as características gerais do projeto a ser realizado, seguindo as normas da ABNT NBR 6118 (2014). Primeiramente, determinou-se a resistência à compressão do concreto, onde a fundação, por estar em contato direto com o solo, apresenta um valor de 25Mpa e o restante dos elementos de concreto armado exibem um valor de 30MPa, já o aço utilizado deve atender as características das categorias CA-50 e CA-60, conforme apresenta a Figura 8.

Visando a segurança e a durabilidade da estrutura, a agressividade ambiental do local na qual ela está inserida tem que ser levada em consideração, e nesse caso adotou-se a classe de agressividade II: agressividade moderada. O valor do cobrimento das estruturas de concreto armado também é de extrema importância, e a Figura 8 apresenta além desses parâmetros já citados, outros parâmetros importantes para o desenvolvimento do projeto estrutural. Além disso, a Figura 8 também ilustra os dados do terreno utilizados para a fundação, que nesse projeto específico foi escolhido a sapata isolada.

Os parâmetros referentes ao vento devem seguir a norma da ABNT NBR 6123 (1988), e a Figura 9 apresenta os valores adotados para o presente projeto estrutural, considerando a cidade de Bento Gonçalves como referência.

Figura 8 – Dados gerais adotados para o projeto estrutural

Normas: ABNT NBR 6118:2014, AISI, NBR8800, NBR 7190 e Eurocódigo 9

Concreto armado

Concreto

Pisos: C30, usina rigor

Fundação: C25, con. desfav.

Tubulões: C30, usina rigor

Pilares: C30, usina rigor

Cortinas: C30, usina rigor

Características do agregado: Granito (15 mm)

Aço

Barras: CA-50 e CA-60

Parafusos: ISO 898.C4.6

Perfis

Aço

Laminados e soldados: A-36 250Mpa

Dobrados: A-36

Madeira

Pilares: C20 - Vigas: C20 - Vigotas: C20 - Estruturas 3D: 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)

Coefficientes de flambagem

Pilares de betão e mistos

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Pilares em aço

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Pilares de madeira

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Ambiente

Blocos de coroamento: CAA II

Cobrimentos

Estrutura

Pilares e muros/cortinas (geométrico): 2.5 cm

Vigas (geométricos): 2.5 cm

Lajes maciças (mecânicos): 1.5 cm

Lajes nervuradas (mecânicos): 2.5 cm

Lajes de vigotas (geométricos): 2.0 cm

Placas alveolares (mecânico): 1.5 cm

Lajes mistas (geométricos): S-2.0 cm, I-1.5 cm, L-1.5 cm

Escadas (geométrico): 3.0 cm

Fundação

Vigas (geométricos): 4.0 cm

Lajes de fundação (mecânicos): 4.0 cm

Sapatas e blocos de coroamento (geométricos): 4.0 cm

Terreno de fundação

Verificar deslizamento de sapatas

Aderência (a): 0.000 kgf/cm²

Ângulo de atrito terreno-sapata (d): 25.00 graus

Combinações fundamentais: 3.50 kgf/cm²

Combinações sísmicas e acidentais: 6.50 kgf/cm²

Considerar combinações com vento

Considerar combinações com sismo

Agressividade do ambiente

CAA II: Agressividade moderada

Cobrimento

Cobrimento nominal: 30.0 mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 9 – Parâmetros utilizados para as ações do vento

NBR 6123

NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações

Ação de vento segundo X + X - X


Ação de vento segundo Y + Y - Y

Larguras de faixa: Y X 

Parâmetros de cálculo

Velocidade Básica: m/s

Categoria: 

Classe: 

Fator Probabilístico: 



Fator Topográfico +x:

Fator Topográfico -x: 

Fator Topográfico +y:

Fator Topográfico -y:

Coefficiente de arrasto

Vento: 

Forma de aplicação Por pisos Global 

Efeitos de segunda ordem X

Sob a atuação de ações horizontais os pilares perdem a sua verticalidade, fazendo com que o esforço axial devido à carga vertical produza um momento em relação à base do pilar (efeito P-delta), cujo resultado é a amplificação da ação horizontal. Este efeito pode chegar a ser muito importante no caso de estruturas esbeltas e convém sempre ser considerado.

Recomenda-se multiplicar os deslocamentos por 1.43 para reduzir a inércia da seção fissurada para 70% da seção bruta:
 $I_f = 0.7 \cdot I_b \rightarrow I_b = 1.43 \cdot I_f$

Considerar efeitos de segunda ordem

Valor para multiplicar os deslocamentos

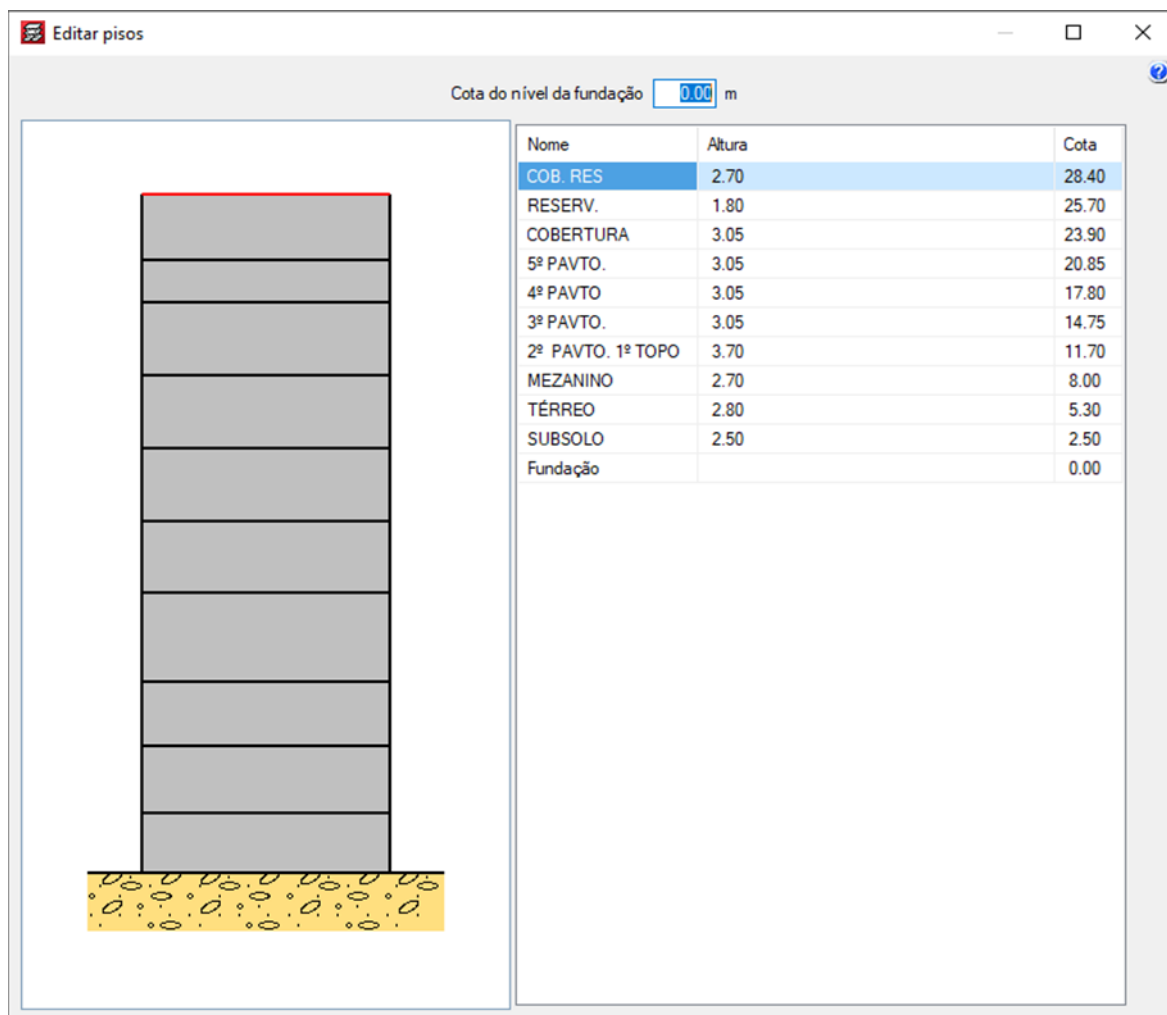
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2.2 Lançamento da estrutura

A etapa do projeto estrutural consiste em lançar os pavimentos, importar as plantas baixas da plataforma CAD para o programa e lançar os carregamentos das

lajes e das paredes na estrutura. A primeira parte se resume em lançar os pavimentos, bem como a disposição dos mesmos. Logo, a altura final da edificação ficou em 28,40 m, conforme a Figura 10.

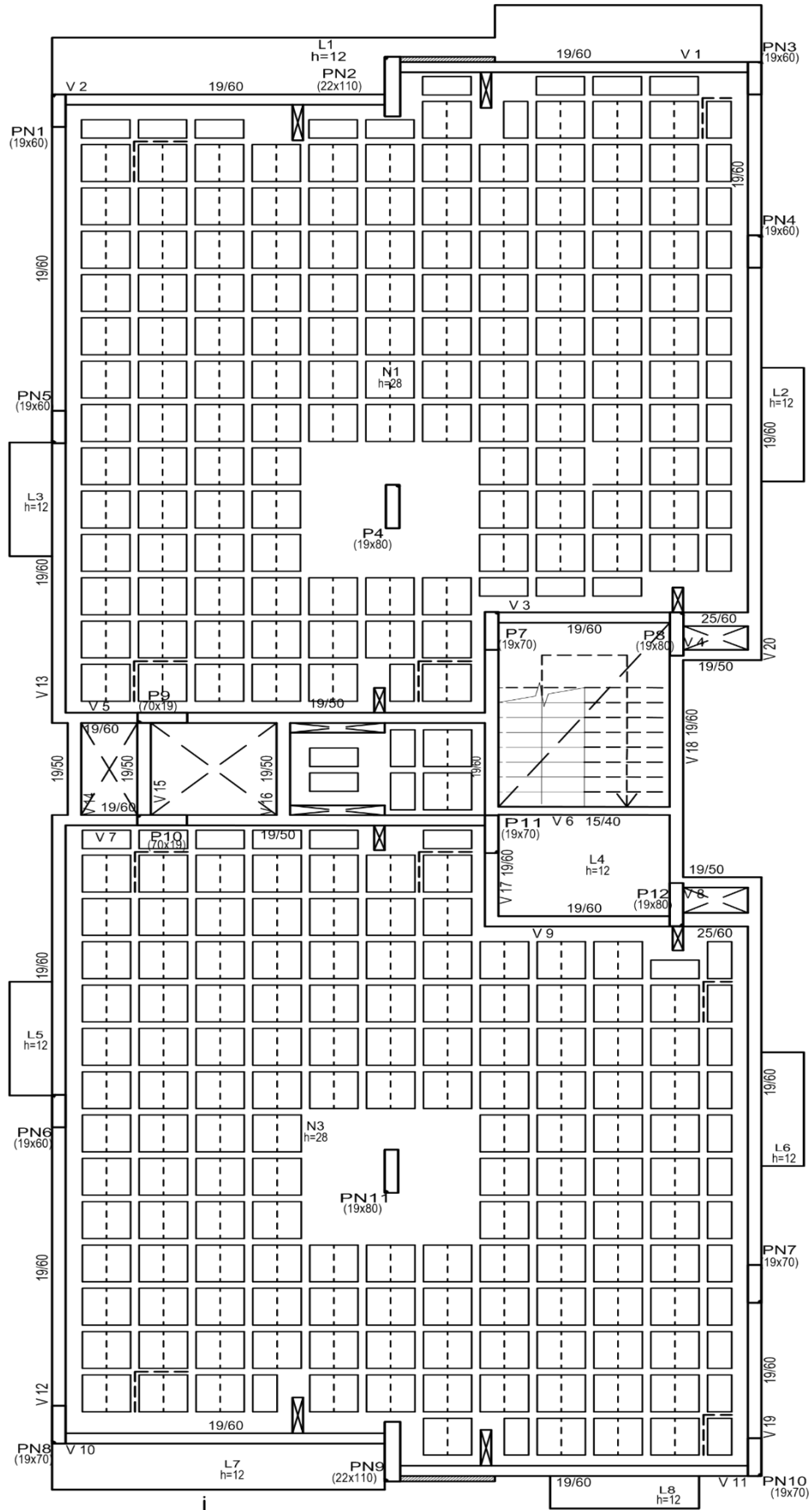
Figura 10 – Disposição e cotas da edificação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após essa etapa, se elaborou todo o posicionamento dos elementos estruturais para o pré-dimensionamento dos mesmos, com o auxílio de um arquivo em DWG com as plantas arquitetônicas do projeto a ser realizado, facilitando assim o lançamento do projeto estrutural em compatibilidade com o arquitetônico. A Figura 11 apresenta a área de forma do pavimento tipo, na qual é o principal objeto do presente estudo, com os elementos estruturais, como pilares, vigas e lajes devidamente alocados.

Figura 11 – Pré-dimensionamento da área de forma do pavimento tipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

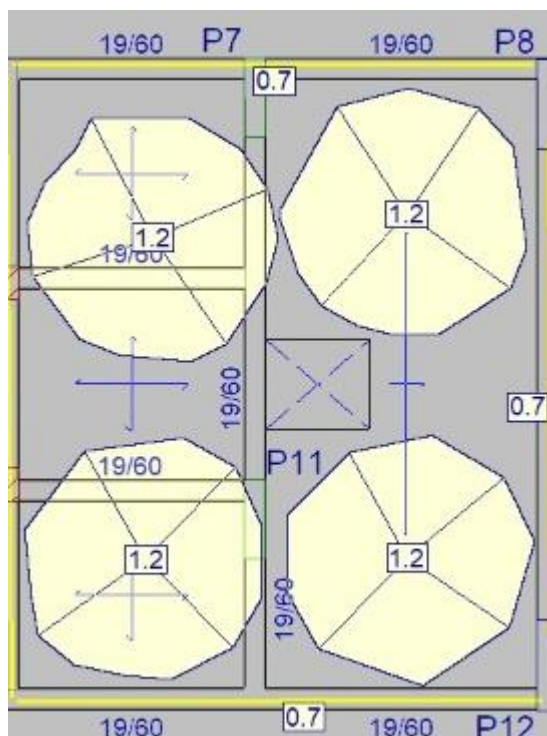
Juntamente a essa etapa, seguindo a ABNT NBR 6120 (2019) e, principalmente os valores que o engenheiro civil Ronaldo Scaravonatti utiliza em seus projetos estruturais em anos de experiência na área, é feito o lançamento das cargas das lajes, onde SCU é referente à sobrecarga de uso e CP refere-se à carga permanente adotada, conforme ilustra o Quadro 2. Para as lajes de cobertura, reservatório e cobertura de reservatório, foi adotado 0,12 t/m² para a sobrecarga de uso pois trata-se de pavimentos que raramente terão circulação de pessoas. Da mesma forma quando se refere a carga permanente, onde foi adotado os mesmos 0,12 t/m² pois esses pavimentos irão conter somente contra piso com espessura de 5 cm. Ainda, é importante salientar que na laje de reservatório, por conter quatro caixas d'água de 5.000 litros cada, adotou-se cargas superficiais de 1,2 t/m² para cada reservatório, conforme Figura 12.

Quadro 2 – Carregamentos adotados para as lajes

Piso	S.C.U (t/m ²)	C. permanentes (t/m ²)
COB. RES	0.12	0.12
RESERV.	0.12	0.12
COBERTURA	0.12	0.12
5º PAVTO.	0.15	0.14
4º PAVTO	0.15	0.14
3º PAVTO.	0.15	0.14
2º PAVTO. 1º TOPO	0.15	0.14
MEZANINO	0.20	0.14
TÉRREO	0.40	0.14
SUBSOLO	0.40	0.10
Fundação	0.00	0.00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 12 – Cargas superficiais dos reservatórios



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por fim, o carregamento das paredes foi lançado, conforme Tabela 14, no qual foi realizado um projeto com as cargas da vedação interna dos pavimentos tipo em alvenaria convencional, onde foi realizado o somatório do peso dos blocos e da argamassa interna e externa, na qual foi considerado 3 cm total de revestimento. Ainda, foi utilizado o mesmo valor para ambas medidas de paredes, usando como base a de maior espessura, sendo assim a favor da segurança. O outro projeto foi realizado com as cargas das paredes internas em *drywall*.

Tabela 14 – Cargas utilizadas para o carregamento das paredes

Descrição da Carga	Peso específico
Argamassa de cal	18,0 kN/m ³
Parede de alvenaria em bloco cerâmico vazado	1,3 kN/m ²
Drywall (composição: montantes metálicos, quatro chapas com 12,5mm de espessura)	0,5 kN/m ²

Fonte: Adaptado de ABNT (2019).

3.2.3 Dimensionamento final

Após finalizar todos os procedimentos anteriores, pôde-se então realizar o processamento da estrutura. Quando finalizado, o *CypeCAD* gera os relatórios de cálculos e detalhamentos sobre todos os elementos estruturais, além de deslocamentos no topo da estrutura, cargas atuantes sobre a edificação, relatórios relacionados a peso do aço, a área de forma, o volume de concreto da edificação como um todo, os quais são os parâmetros relevantes para o estudo, além de vários outros indicadores que o *software* apresenta.

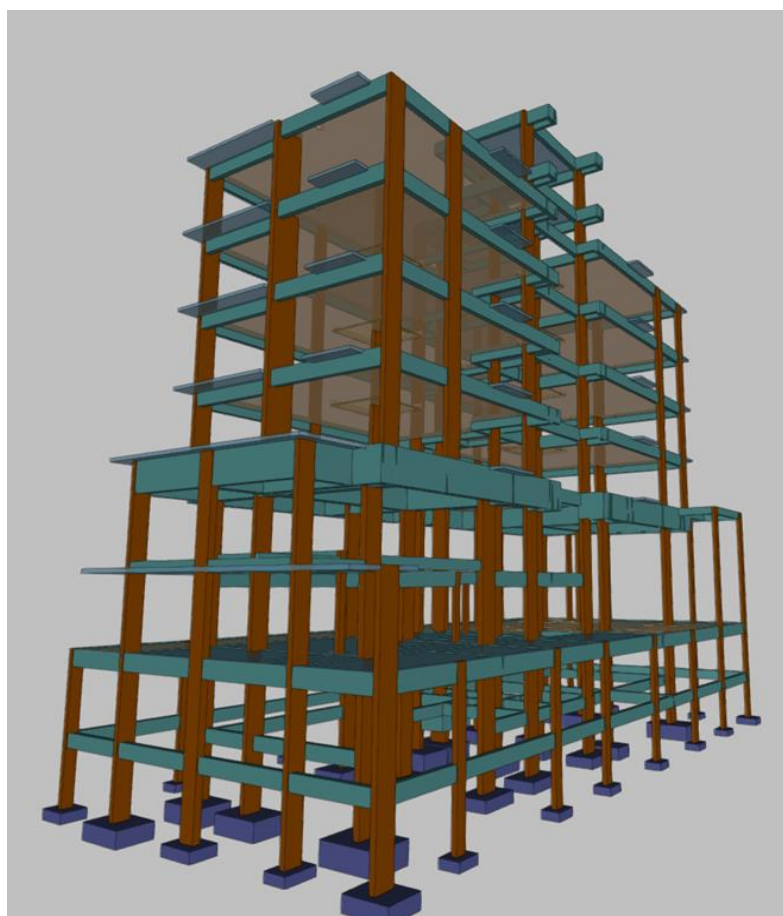
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta etapa do trabalho foram obtidos através dos dimensionamentos das estruturas, uma com vedação interna dos pavimentos tipo em alvenaria convencional e outra em *drywall*, através do *software Multiplus CypeCAD*, visando obter os dados de área de aço, volume de concreto, área de forma, além do deslocamento no topo da edificação. O Apêndice B apresenta a planta de fôrma do pavimento tipo detalhada, obtida após o dimensionamento final da estrutura.

4.1 DADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE

Após finalizar os dimensionamentos estruturais, obteve-se o pórtico em 3D da estrutura global, conforme a Figura 13. Além disso, o *software* gera um relatório detalhado de todo o consumo de materiais que será necessário para a execução da edificação.

Figura 13 – Estrutura em 3D

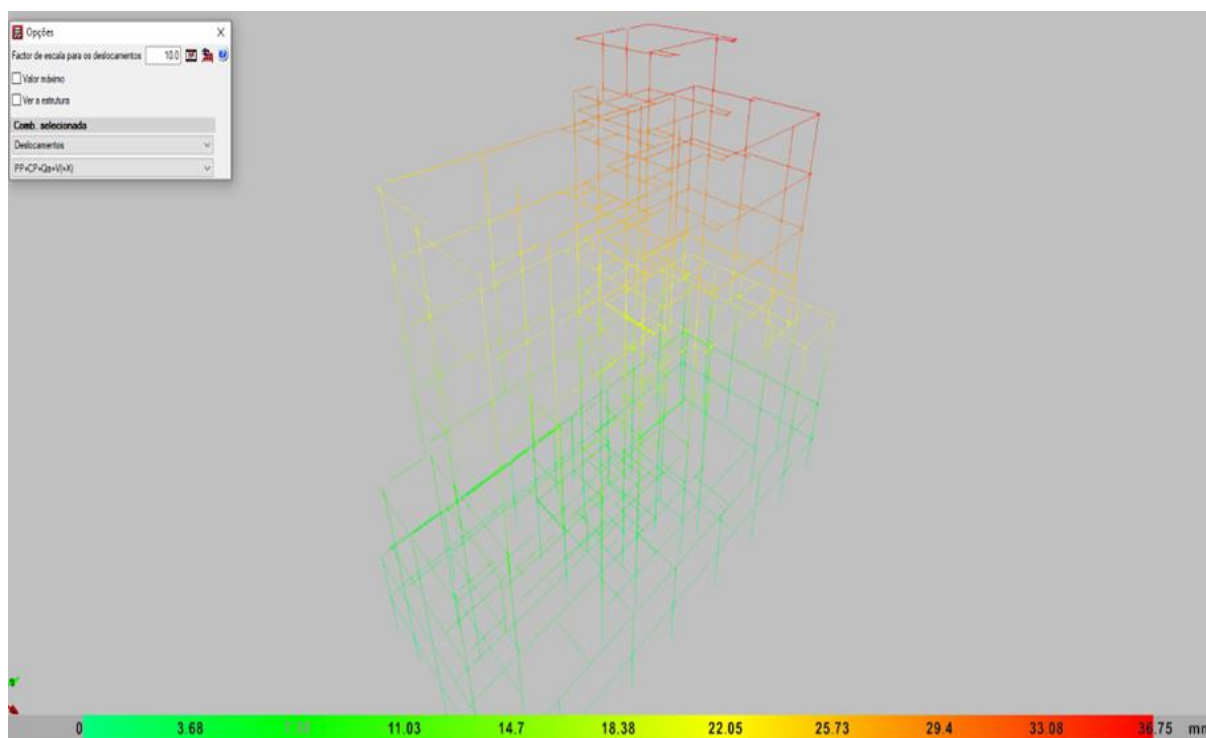


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

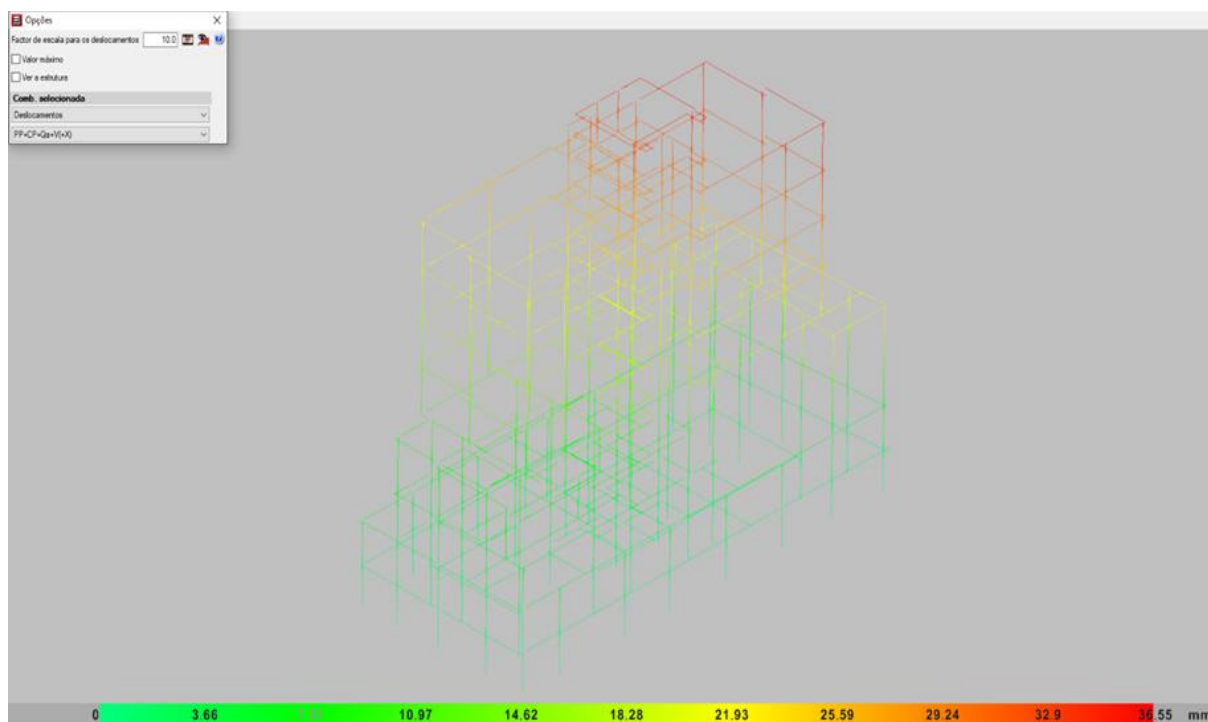
4.1.1 Deslocamento no topo da edificação

O deslocamento no topo da edificação está diretamente relacionado com o comportamento global da estrutura, onde grandes deslocamentos apresentados podem indicar problemas na concepção da estrutura. A partir dos resultados obtidos é possível afirmar que, considerando o pior caso, houve uma mínima redução de 0,54% do projeto em *drywall* para o projeto em alvenaria convencional. Para tal deslocamento, a combinação analisada foi o somatório do peso próprio, carga permanente, carga acidental e ação do vento na direção X. As Figuras 14 e 15 apresentam o deslocamento máximo no topo da estrutura em alvenaria convencional, que foi de 36,75 mm, e na edificação em *drywall*, na qual o valor foi de 36,55 mm. Segundo a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), o deslocamento limite para tal edificação é de 55,68 mm, portanto, ambas estruturas atendem à norma.

Figura 14 – Deslocamento no topo da estrutura em alvenaria convencional



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 15 – Deslocamento no topo da estrutura em *drywall*

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

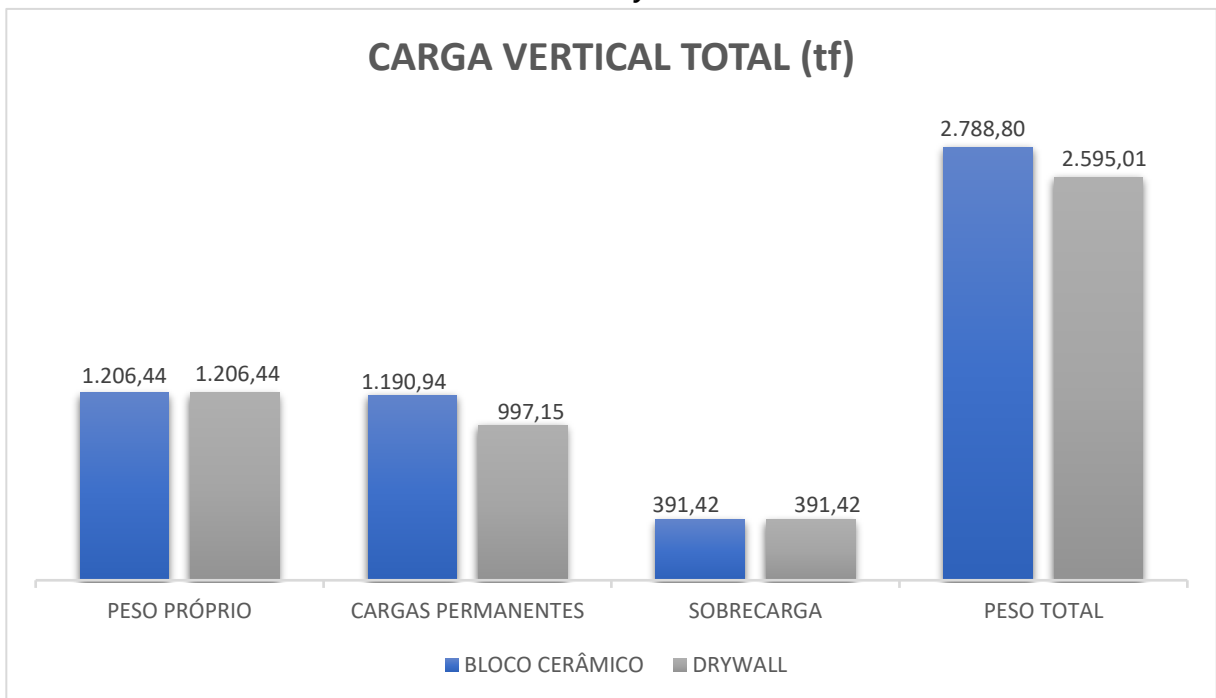
4.1.2 Carga vertical total

A carga vertical total de projeto da estrutura em *drywall* gerou uma diferença de 7,47% em comparação com a estrutura de alvenaria convencional. O Gráfico 1 apresenta os comparativos, onde a principal diferença se deu nas cargas permanentes, uma vez que o *drywall* apresenta um peso menor que a alvenaria.

Ainda, o projeto com vedações internas dos pavimentos tipo em alvenaria convencional apresentou um peso total de 2.788,80 tf, enquanto o mesmo projeto em gesso acartonado resultou em um peso total de 2.595,01 tf. Essa redução obtida foi o ponto principal para manter as mesmas dimensões geométricas dos pilares, vigas e lajes em ambos os projetos, pois pelos testes realizados em ambas as estruturas a fim de reduzir peso de aço, área de forma e volume de concreto, caso fosse realizada a diminuição dos elementos estruturais, mesmo assim os parâmetros analisados se manteriam praticamente iguais, e em alguns casos até aumentaria, como foi no caso das armaduras.

Portanto, como o aço possui um alto custo na estrutura global, o dimensionamento geométrico foi feito de forma igual para todos os elementos estruturais, a fim de proporcionar um foco maior no peso do aço.

Gráfico 1 – Comparativo da carga vertical total do projeto em alvenaria convencional e em *drywall*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, a Figura 16 ilustra o comparativo do coeficiente Gama-Z entre as duas estruturas estudadas, onde a edificação com vedação interna em *drywall* obteve menores valores tanto na direção X como na direção Y, justamente por apresentar uma carga vertical total menor quando comparado com a estrutura em alvenaria convencional, e, portanto, ser mais favorável em relação a estabilidade global.

Figura 16 – Comparativo do coeficiente Gama-Z

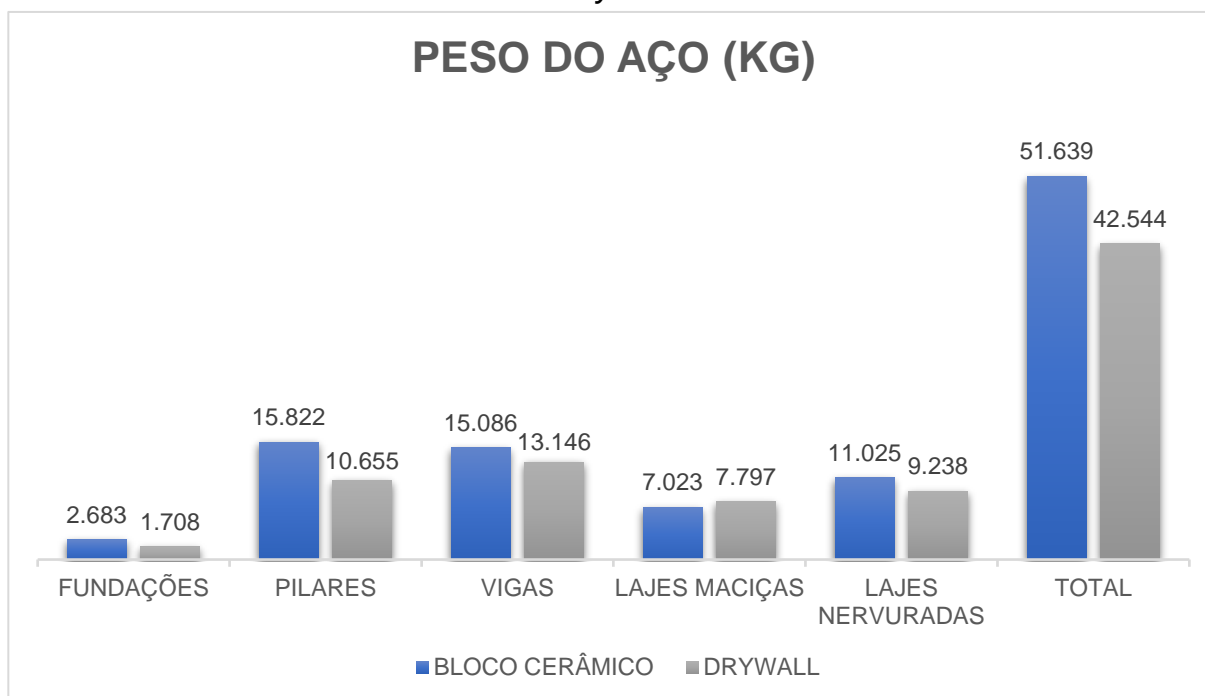
PROJETO EM ALVENARIA		PROJETO EM <i>DRYWALL</i>	
Vento +X	1.072	Vento +X	1.065
Vento -X	1.072	Vento -X	1.065
Vento +Y	1.023	Vento +Y	1.021
Vento -Y	1.023	Vento -Y	1.021

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.1.3 Peso do aço

No projeto, foram usados aços da categoria CA-50 e CA-60 para a armadura dos elementos estruturais, sendo utilizado em média 15% do valor total da estrutura com aço CA-60 e 85% com aço CA-50. O Gráfico 2 apresenta um comparativo entre o modelo estrutural com divisórias internas dos pavimentos tipo em alvenaria convencional e outro em *drywall*. O projeto em alvenaria convencional resultou em um valor de 51.639 kg de aço utilizado em toda a estrutura, por outro lado, o projeto em *drywall* apresentou um valor total de 42.544 kg de aço para a execução total do projeto, gerando assim uma diminuição de 21,38% do consumo total de aço em relação ao projeto em alvenaria convencional.

Gráfico 2 – Comparativo do peso de aço entre alvenaria convencional e *drywall*

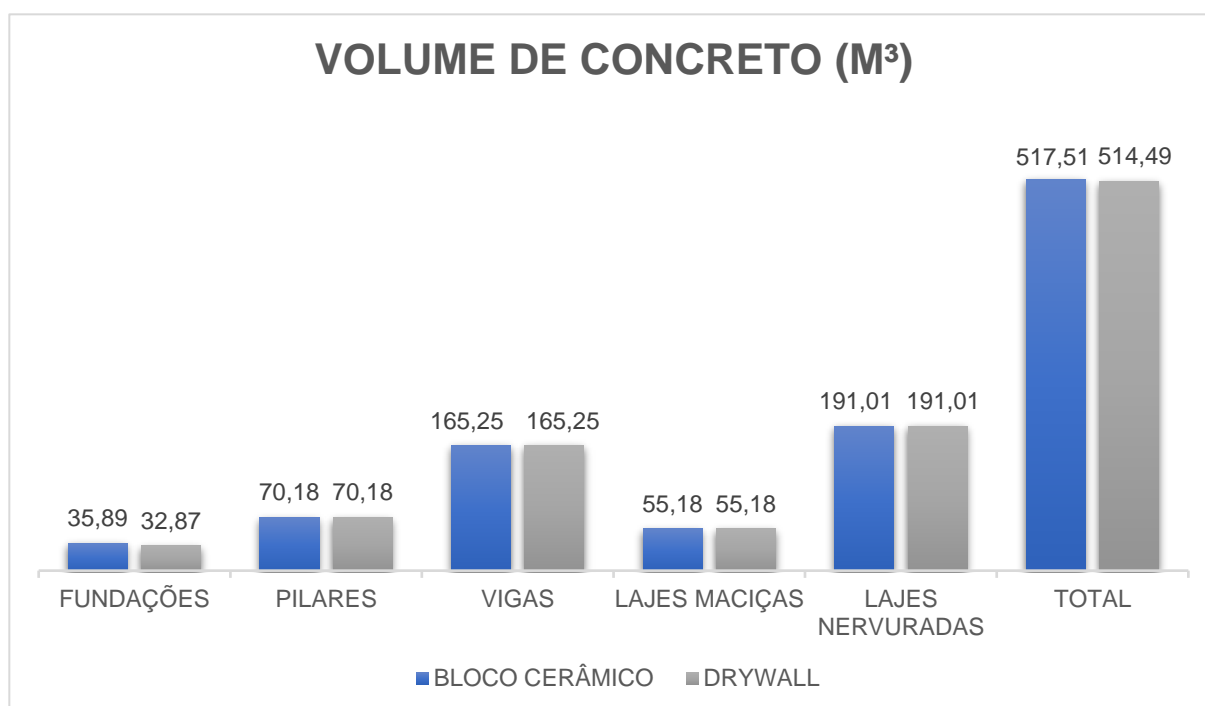


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.1.4 Volume de concreto

O volume de concreto foi praticamente o mesmo para os dois projetos, uma vez que os elementos estruturais, tais como pilares, vigas e lajes se mantiveram iguais em ambos dimensionamentos, visando a compatibilização entre os projetos estrutural e arquitetônico. O Gráfico 3 ilustra o comparativo entre o projeto em alvenaria convencional e outro em *drywall*, onde a diferença se dá nas fundações, visto que reduzindo a carga total da estrutura, conseqüentemente o dimensionamento das sapatas diminui também. Portanto, o projeto em alvenaria convencional apresentou um total de 517,51 m³ de concreto, já o projeto em *drywall* resultou em um total de 514,49 m³ de concreto, tendo uma diminuição de 0,58%.

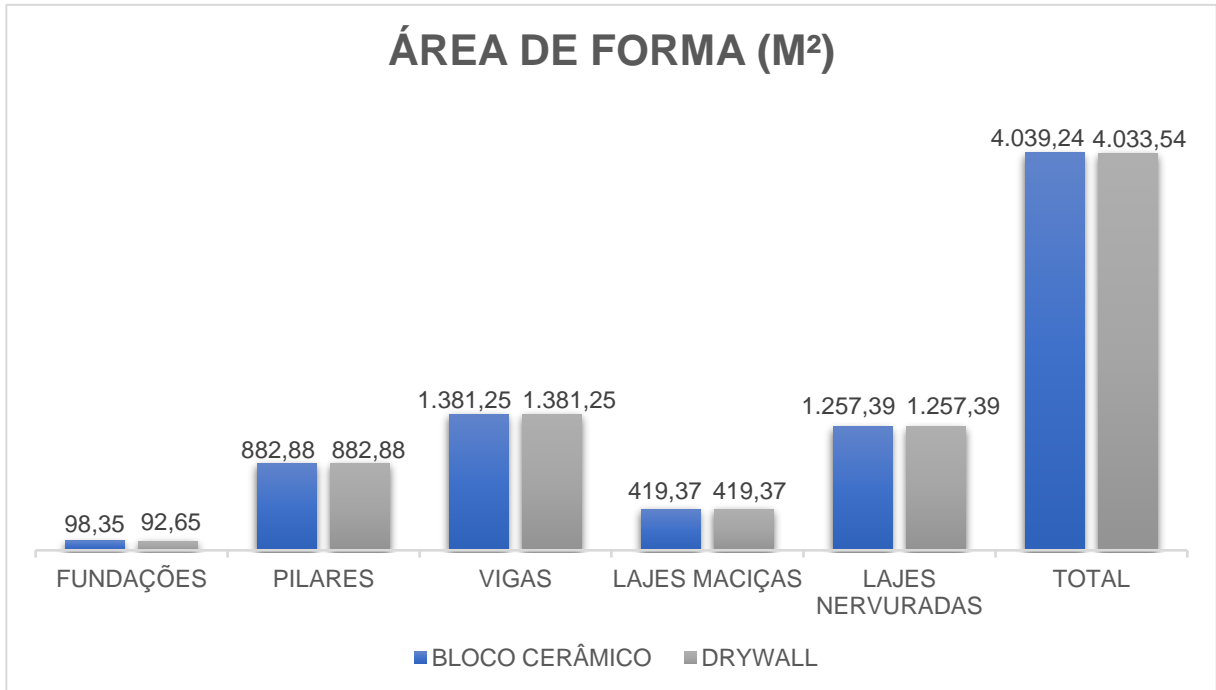
Gráfico 3 – Comparativo do volume de concreto entre alvenaria convencional e *drywall*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.1 Área de forma

Para a área de forma, o resultado se assemelhou com o volume de concreto, já que, como citado anteriormente, o único elemento estrutural que sofreu alteração de dimensões foram as sapatas. Logo, o Gráfico 4 apresenta a diferença entre o projeto em alvenaria convencional e o projeto em *drywall*, onde obteve-se uma área de forma total equivalente a 4.039,24 m² e 4.033,54 m², respectivamente, totalizando assim uma diminuição de 0,14% a favor da estrutura em *drywall*.

Gráfico 4 – Comparativo da área de forma entre alvenaria convencional e *drywall*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA

A Tabela 15 apresenta os quantitativos de materiais utilizados na edificação em alvenaria convencional, na qual totalizou 2.987,5 m² de alvenaria em blocos cerâmicos, sendo 1.196,5 m² interno e 1.791 m² externo. Já a Tabela 16 ilustra o projeto realizado com vedação interna dos pavimentos tipos em *drywall*, excluindo a caixa de escada e de elevador, onde apresentou 1.804,3 m² de alvenaria, onde 13,3 m² interno e 1.791 m² externo e 1.183,2 m² de *drywall*. Os dados de custo dos materiais foram obtidos pela tabela do SINAPI (FEV,2022), porém, a cubeta para as lajes nervuradas foi orçada de forma unitária pela empresa ULMA, onde foi calculado a quantidade para a maior laje, para assim reaproveitá-las para o restante das lajes.

Tabela 15 – Orçamento do projeto com vedação em alvenaria convencional

Código	Fonte	Especificação	Und.	Total	Quant.	Valor Total
00034449	SINAPI	AÇO CA 50 – 6,3mm	kg	R\$ 10,29	2.978,0	R\$ 30.643,62
00000033	SINAPI	AÇO CA 50 – 8,0mm	kg	R\$ 9,31	3.724,0	R\$ 34.670,44
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 10,0mm	kg	R\$ 8,73	7.334,0	R\$ 64.025,82
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 12,5mm	kg	R\$ 8,73	13.813,0	R\$ 120.587,49
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 16,0mm	kg	R\$ 8,73	9.583,0	R\$ 83.659,59
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 20,0mm	kg	R\$ 8,73	9.635,0	R\$ 84.113,55
00043061	SINAPI	AÇO CA 60 – 5,0mm	kg	R\$ 8,70	4.572,0	R\$ 39.776,40
00001527	SINAPI	CONCRETO USINADO fck=25MPa	m ³	R\$ 484,53	35,89	R\$ 17.389,78
00001525	SINAPI	CONCRETO USINADO fck=30MPa	m ³	R\$ 499,44	481,62	R\$ 240.540,29
103330	SINAPI	ALVENARIA BLOCO CERÂMICO 11,5X19X19	m ²	R\$ 75,86	1.196,5	R\$ 90.766,49
103334	SINAPI	ALVENARIA - BLOCO CERÂMICO 14X19X19	m ²	R\$ 129,42	1.791,0	R\$ 231.791,22
00001347	SINAPI	FORMA MAD. COMPENSADA 12mm	m ²	R\$ 96,05	2.781,85	R\$ 267.196,69
-	ULMA	CUBETA 80x80x20H	un	R\$ 365,00	445,0	R\$ 162.425,00
					TOTAL	R\$ 1.467.586,38

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

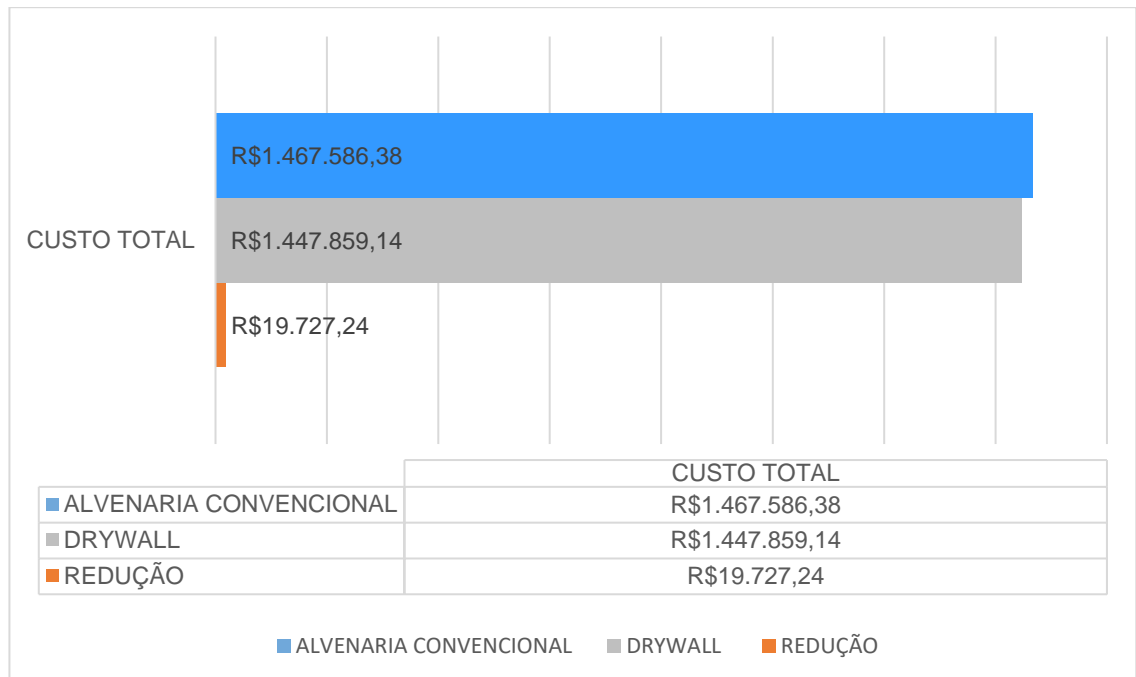
Tabela 16 – Orçamento do projeto com vedação em *drywall*

Código	Fonte	Especificação	Und.	Total	Quant.	Valor Total
00034449	SINAPI	AÇO CA 50 – 6,3mm	kg	R\$ 10,29	2.988,0	R\$ 30.746,52
00000033	SINAPI	AÇO CA 50 – 8,0mm	kg	R\$ 9,31	2.861,0	R\$ 26.635,91
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 10,0mm	kg	R\$ 8,73	9.475,0	R\$ 82.716,75
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 12,5mm	kg	R\$ 8,73	10.366,0	R\$ 90.495,18
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 16,0mm	kg	R\$ 8,73	3.209,0	R\$ 28.014,57
00043058	SINAPI	AÇO CA 50 – 20,0mm	kg	R\$ 8,73	7.578,0	R\$ 66.155,94
00043061	SINAPI	AÇO CA 60 – 5,0mm	kg	R\$ 8,70	6.067,0	R\$ 52.782,90
00001527	SINAPI	CONCRETO USINADO fck=25MPa	m ³	R\$ 484,53	32,87	R\$ 15.926,50
00001525	SINAPI	CONCRETO USINADO fck=30MPa	m ³	R\$ 499,44	481,62	R\$ 240.540,29
103330	SINAPI	ALVENARIA BLOCO CERÂMICO 11,5X19X19	m ²	R\$ 75,86	13,3	R\$ 1.008,94
103334	SINAPI	ALVENARIA - BLOCO CERÂMICO 14X19X19	m ²	R\$ 129,42	1.791,0	R\$ 231.791,22
96359	SINAPI	GESSO ACARTONADO	m ²	R\$ 128,44	1.183,2	R\$ 151.970,21
00001347	SINAPI	FORMA MAD. COMPENSADA 12mm	m ²	R\$ 96,05	2.776,15	R\$ 266.649,21
-	ULMA	CUBETA 80x80x20H	un	R\$ 365,00	445,0	R\$ 162.425,00
TOTAL						R\$ 1.447.859,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O Gráfico 5 apresenta o comparativo total de custos, no qual o projeto com vedação interna em alvenaria convencional obteve um valor final de R\$ 1.467.586,38, já o projeto realizado com vedação interna em *drywall* teve um custo final de R\$ 1.447.859,14. A redução de custo entre os projetos foi de R\$ 19.727,24 a favor da estrutura em *drywall*, totalizando assim uma economia de 1,363%.

Gráfico 5 – Comparativo total de custos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos através deste estudo, é possível afirmar que a estrutura com vedação interna dos pavimentos tipo em *drywall* apresentou um desempenho técnico e econômico mais satisfatório em relação ao mesmo projeto em alvenaria convencional. Pode-se concluir também que os resultados foram similares, uma vez que o projeto estudado se trata de uma edificação de pequeno porte, não gerando uma grande discrepância entre as estruturas.

Ainda, considerando os deslocamentos no topo das estruturas e as cargas verticais totais dos projetos, houve uma redução de 0,54% e 7,47%, respectivamente, a favor do projeto em *drywall*. Quanto ao peso do aço, volume de concreto e área de forma, a diminuição foi de 21,38%, 0,58% e 0,14%, respectivamente, favoráveis ao projeto em gesso acartonado. Por fim, analisando os custos de ambas as estruturas, o projeto em *drywall* apresentou uma economia total de 1,363%.

Além das questões técnicas e econômicas, é necessário citar outros fatores importantes para uma análise global do estudo. Por possuir uma execução mais rápida, ser mais sustentável e apresentar um conforto termoacústico superior quando comparado à alvenaria convencional, o sistema de vedação interna em *drywall* agrega ainda mais valor para a estrutura. Em contrapartida, a vedação em alvenaria está difundida há mais tempo no mercado brasileiro de construção civil, além de possuir uma mão de obra de fácil acesso e um custo de material reduzido, gerando uma segurança maior ao construtor.

Por conseguinte, por ainda haver um grande pré-conceito quanto a utilização do gesso acartonado como forma de vedação interna no Brasil, o uso da alvenaria convencional é ainda muito alto. Tal paradigma tende a ser diminuído com o passar do tempo, uma vez que muitos países do restante do mundo já utilizam em grande parte de suas edificações, e, no Brasil, o *drywall* têm sido bastante empregue nos últimos anos também, além de apresentar uma ótima eficácia já comprovada em todos os aspectos construtivos.

Ainda, como forma de sugestão para próximos estudos, a análise detalhada de custos, tanto de mão de obra como de materiais para a edificação global, seria de extrema importância, para assim se obter um resultado mais detalhado e abrangente a respeito das vedações internas apresentadas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de; PINHEIRO, Libânio Miranda. Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 19, p. 1-19, 2002. Disponível em: <https://silo.tips/download/viabilidade-economica-de-alternativas-estruturais-de-concreto-armado-para-edific>. Acesso em: out. 2021.
- ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes. **Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas**. 2002. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- ALSI GESSO. Gessos e revestimentos. 2020. Disponível em: <http://alsigesso.com.br/s1.htm>. Acesso em: out. 2021.
- ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. 2007. Trabalho de disciplina ECC 1008 – Estruturas de concreto. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Concep_Estrut_2007.pdf. Acesso em: out. 2021.
- ANDRADE, Silvio de. Concreto: Por que tem baixa resistência à TRAÇÃO? [S.l.: s.n.], 24 nov. 2017. video (6m53s). Publicado pelo canal Silvio de Andrade. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=j6KDDLob0_g. Acesso em: 11 set. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14715**: chapas de gesso acartonado: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: concreto para fins estruturais: classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1997. Disponível em: https://duqueuai.files.wordpress.com/2010/09/o_edificio_ate_sua_cobertura_-_helio_alves_de_azeredo.pdf. Acesso em: out. 2021.

BARROS, Mércia Maria Semensato Bottura de. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05072017-090939/pt-br.php>. Acesso em: out. 2021.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Bauru, 2006. Notas de Aula na disciplina de Sistemas Estruturais I do curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto armado**. Bauru, 2021. Notas de aula da disciplina de estruturas de concreto 1 do curso de Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: out. 2021.

BRAGA, Leandro Santos; SILVA, Wanderson Pereira da. **Análise do método construtivo de paredes internas em drywall em comparação com a alvenaria**. Goianésia, 2017. Notas de aula da disciplina na faculdade Faceg faculdade evangélica de Goianésia. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/387/1/2017_1_LEANDRO_WANDERSON.pdf. Acesso em: XX XXX. XXXX

CARDOSO, Rafael do Vale Pereira. **Projeto estrutural em concreto armado**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/115444>. Acesso em: out. 2021.

CARVALHO, R. C. **Estrutura em Concreto Protendido: Cálculo e Detalhamento**. 1. ed. São Paulo: PINI, v.1, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Lobânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 1. ed. vol. 2. São Paulo: Pini, 2013.

MILITO, José Antonio de. **Técnicas de Construção Civil e Construção de Edifícios**. 2004. Apostila de desenvolvimento de material didático ou instrucional).

EYE, Luis Augusto Von. **Alvenaria convencional x painéis drywall, um estudo de caso**. Brasília, 2015. 38 f. Artigo de classe na Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Brasília.

FILHO, Américo campos. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre, 2014. Projeto da Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FRANCO, L.S. **O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais**. São Paulo, 1998.

GARCIA, Fábio Ricardo. **Alternativa tecnológica na construção civil: O uso do Drywall como dispositivo de vedação**. 2007. 45 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

GYPSUM DRYWALL. **Sistema Gypsum Drywall: Residências: Guia de especificação**. 2012. Disponível em: <http://www.tecto.com.br/Catalogos/Ver/1485?p=26>. Acesso em: out. 2021.

LABUTO, Leonardo Vinicius. **Parede seca: Sistema construtivo de fechamento em estrutura de Drywall**. 2014. 67 p. Monografia (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A2SHCJ>. Acesso em: out. 2021.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. *In: Conferência Latino-americana de construção sustentável*. 1. Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 10., 2004, São Paulo. **Anais eletrônicos** [...]. São Paulo, 2004. Disponível em: <https://acusticacuritiba.files.wordpress.com/2013/01/2004-entac-marco-losso-elvira-viveiros.pdf>. Acesso em: out. 2021.

MARINOSKI, Deivis. **Alvenarias: Conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**, Florianópolis, 2011. Notas de Aula na disciplina de Tecnologia da Edificação III do curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Federal de Santa Catarina – UFSC. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-%20Alvenarias_%20introducao+vedacao.pdf. Acesso em: 11 out. 2021.

MITIDIARI, Cláudio. Cargas Suspensas. **Revista Técnica**, [S.l.]. Ed. 142, janeiro, 2009.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. 2. ed. England: Pearson Education Limited, 2013.

NUNAS, L. P. **Vedações**. São Paulo, 2015.

PEREIRA, Caio. Processo Executivo, vantagens e desvantagens. *In: Escola Engenharia*, [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto.armado>. Acesso em: 12 set. 2021.

PINHEIRO, Libnânio Miranda; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**: Estruturas de Concreto – Conceção estrutural. São Carlos, 2003. Notas de Aula do departamento de engenharia de estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. Cap. 4.

PINHEIRO, Libânio Miranda; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.; CATOIA, Thiago. CATOIA, Bruna. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**: Estruturas de Concreto - Introdução. São Carlos, 2010. Notas de Aula do departamento de engenharia de estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. Cap. 1.

PINHEIRO, Libânio Miranda; SANTOS, Andreílton P.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Estruturas de concreto – Capítulo 3**. São Paulo, 2010. Apostila. USP – EESC – Departamento de Engenharia e Estruturas, Universidade de São Paulo.

PINHEIRO, Libânio Miranda; SCADELAI, Murilo Alessandro. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**: Estruturas de Concreto – Pilares. São Carlos, 2005. Notas de Aula do departamento de engenharia de estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. Cap. 16. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/16%20Pilares.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003

ROCHA, Carla. Diferença entre os elementos estruturais: laje, pilar e viga. *In: Mapa da Obra*. [S.l.], 22 abr. 2020. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/elementos-estruturais>. Acesso em: 11 set. 2021.

RODRIGUES, Matheus de Luna. **Ganhos na construção com a adoção da alvenaria com blocos cerâmicos modulares**. 2013. 84 p. Monografia (Engenheiro Civil, Engenharia Civil) -UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9591/1/monopoli10006647.pdf>. Acesso em: out. 2021.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistema construtivo**: Formulação e aplicação de uma metodologia. 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2018.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos construtivos para alvenaria e revestimentos**: Recomendações para construção de paredes de vedação em alvenaria. São Paulo, EPUSP, 1988

SABBATINI, Fernando Henrique. **Tecnologia das construções de edifícios I**. PCC-2435, 2003.

SALLABERRY, Roberta Dutra. **Limite de deformação das fibras de carbono usadas no reforço a flexão de vigas de concreto armado**. 2005. Tese (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SANTIN, Eder. **A economia que vem do Drywall**. Técnica, São Paulo, 2000. Segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

SILVA, L. C. S; Fortes, A. S. **A utilização do drywall como método de redução de cargas e custos em estruturas de concreto armado**. 2009. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2009.

SIMAS, Reginaldo Elzo. **Estudo da Racionalização da Alvenaria Para Construção de Habitações**. Universidade do Vale do Itajaí, Monografia (Engenharia Civil), Itajaí, 2011. Disponível em:

https://www.academia.edu/19706034/Estudo_da_Racionaliza%C3%A7%C3%A3o_da_Alvenaria_para_constru%C3%A7%C3%A3o_de_habita%C3%A7%C3%B5es.

Acesso em: out. 2021.

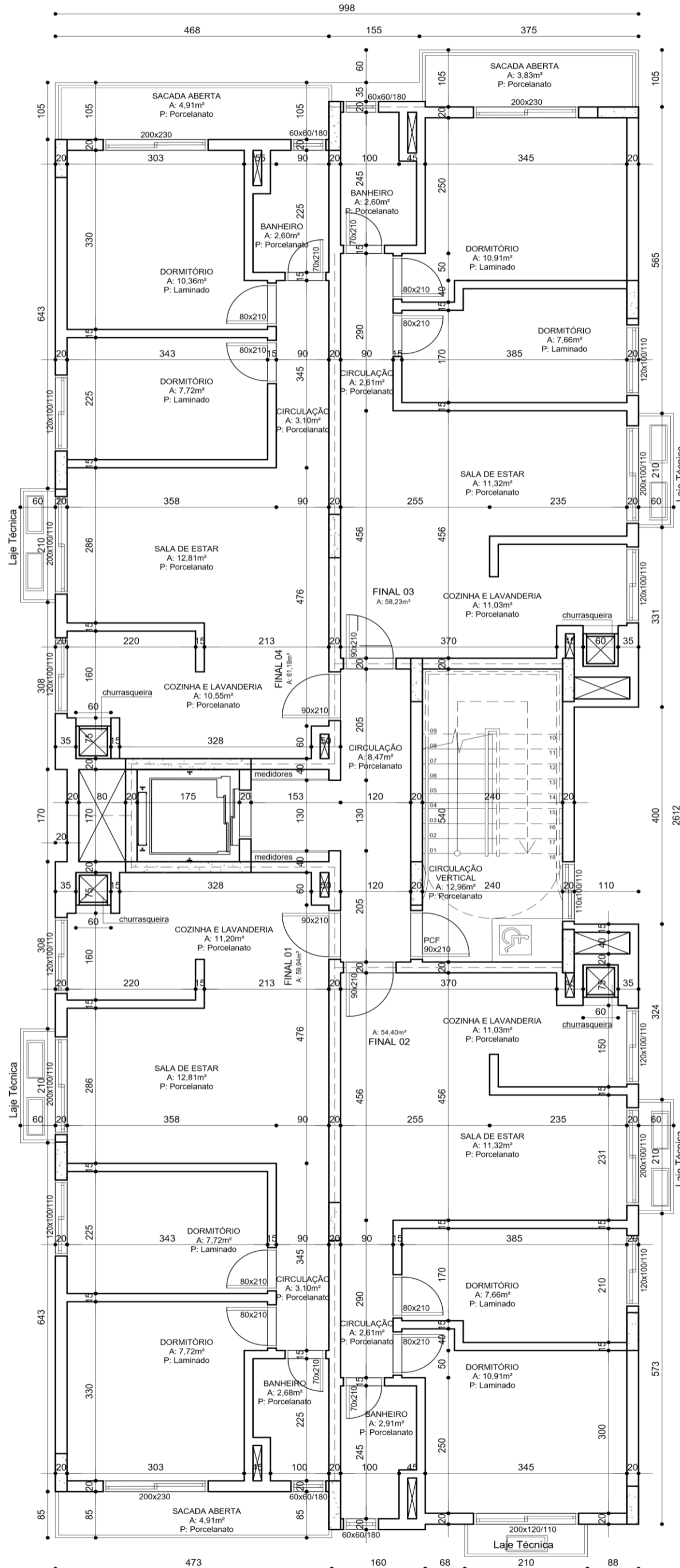
SOUZA, Rafael Alves; REIS, Jeselay Hemetério Cordeiro. **Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. Paraná, 2008. Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá.

Disponível em: <http://www.engracon.com.br/artigos/11327606759.pdf>. Acesso em: out. 2021.

THOMAZ, Ércio; FILHO, Cláudio Vicente Mitidieri; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Código de práticas nº01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). São Paulo, 2009.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR Jr., Kléos M. Lenz. **Concreto Protendido: fundamentos básicos**. 4. ed. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1998. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>. Acesso em: out. 2021.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DETALHADA DO PAVIMENTO TIPO



APÊNDICE B – PLANTA DE FORMA DETALHADA DO PAVIMENTO TIPO

