



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

DIMAS ALBERTO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

**UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL*
FRAME COM ÊNFASE EM DESEMPENHO ACÚSTICO**

Recife, PE
2025

DIMAS ALBERTO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

**UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL*
FRAME COM ÊNFASE EM DESEMPENHO ACÚSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Tibério Wanderley Correia Andrade de Oliveira

RECIFE, PE

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos Filho, Dimas Alberto de Assis dos.

Uma revisão bibliográfica do sistema construtivo Light Steel Frame com
ênfase em desempenho acústico / Dimas Alberto de Assis dos Santos Filho. -
Recife, 2025.

87 p. : il., tab.

Orientador(a): Tibério Wanderlei Correia de Oliveira Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -
Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Light Steel Frame. 2. desempenho acústico. 3. vedação vertical externa. 4.
pisos. 5. sistemas construtivos industrializados. I. Andrade, Tibério Wanderlei
Correia de Oliveira . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO (S):

1 – DIMAS ALBERTO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

ORIENTAÇÃO:

Orientador: Prof. Tibério Wanderlei Correia de Oliveira Andrade

BANCA EXAMINADORA:

Orientador/Coorientador:

Prof. Dr. Tibério Wanderlei Correia de Oliveira Andrade

(Docente da Universidade Federal de Pernambuco)

Examinador 1:

Prof.^a Dr^a Andrea Diniz Fittipaldi

(Docente da Universidade Federal de Pernambuco)

Examinador 2:

Otávio Joaquim da Silva Júnior

Empresa: Tecomat

(CREA : 48645/PE)

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL FRAME* COM ÊNFASE EM DESEMPENHO ACÚSTICO

LOCAL: APRESENTAÇÃO REMOTA

DATA: 29/04/2025 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 9:00h.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: **7,5** (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) (X) aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões). O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 $\leq$ nota $<$ 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nova ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $<$ 3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).
Recife, 29 de abril de 2025

Documento assinado digitalmente
 **TIBERIO WANDERLEY CORREIA DE OLIVEIRA ANI**
Data: 03/05/2025 16:46:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador:

Documento assinado digitalmente
 **ANDREA DINIZ FITTIPALDI**
Data: 04/05/2025 10:59:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador 1:

Documento assinado digitalmente
 **OTAVIO JOAQUIM DA SILVA JUNIOR**
Data: 04/05/2025 08:46:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador 2:

Documento assinado digitalmente
 **DIMAS ALBERTO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO**
Data: 03/05/2025 13:23:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Candidato 1:

*Especificar instituição ou empresa do examinador.

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, José Antônio da Silva (in memoriam), e Laurinete Gomes da Silva (in memoriam), por todo amor, acolhimento, ensinamentos e momentos únicos de alegria que levarei comigo para sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Jesus Cristo, autor da minha fé e propósito de existência, em quem encontro sentido para realizar todas as coisas.

À minha esposa Mabelle, por todo o apoio prestado desde o início da minha graduação, por ser minha maior incentivadora e meu maior apoio, pelo companheirismo e amizade, sendo essencial em cada etapa desta jornada.

Ao meu pai, Dimas, por ser exemplo e maior referência de disciplina, força e motivação. Por me ensinar a seguir em frente com responsabilidade e dedicação. Por me incentivar a nunca parar de estudar e nunca desistir dos objetivos.

À minha mãe, Josiane, pelos investimentos feitos desde criança em minha vida acadêmica, pelos conselhos e por acreditar no meu potencial desde sempre, sendo uma base fundamental na minha formação.

Ao meu irmão, Gabriel, por caminhar ao meu lado com apoio, amizade e cumplicidade em todos os momentos e tornar a caminhada mais leve e agradável.

À minha avó, Francisca, por ter cuidado de mim durante a infância e ter feito parte da minha criação.

À minha tia Josinete e minha prima Ana Beatriz, pelo carinho, torcida e apoio constantes.

Aos meus amigos da Universidade, por serem companheiros de estudo, de compartilhar tristezas e alegrias de cada momento acadêmico junto comigo.

Ao meu orientador, professor Tibério, pelas orientações, dedicação e exemplo de excelência acadêmica.

Aos professores da Universidade Federal de Pernambuco, por compartilharem conhecimento e contribuírem de forma significativa para minha formação.

RESUMO

No Brasil, a norma de desempenho das edificações, publicada em 2013 e revisada em 2021, estabeleceu novos parâmetros de exigência para os sistemas construtivos. Diante da crescente adoção de métodos construtivos industrializados, este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência do sistema Light Steel Frame no atendimento ao requisito de desempenho acústico, identificando os subsistemas mais frequentemente avaliados quanto a esse critério. A metodologia adotada consistiu em uma pesquisa dividida em três etapas principais. Inicialmente, foram consultadas revistas especializadas, como a revista eletrônica da Universidade de Campinas, a Revista da Sociedade Brasileira de Acústica e o portal da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Posteriormente, a busca foi ampliada para o portal de periódicos da CAPES e, por fim, para o Google Acadêmico. Os resultados dos estudos analisados indicam uma preocupação recorrente com a mensuração do desempenho acústico dos subsistemas que compõem o sistema Light Steel Frame, com ênfase nos sistemas de vedação vertical interna, vedação vertical externa e pisos. No sistema de vedação interna, o uso de Drywall combinado com placas OSB (Oriented Strand Board) apresentou melhor desempenho acústico em relação a soluções tradicionais. Para a vedação externa, as placas de magnésio demonstraram desempenho superior às de cimento Portland, enquanto as placas de poliestireno expandido (EPS) atenderam satisfatoriamente aos requisitos acústicos. No sistema de pisos, placas cimentícias com resíduo de EVA e mantas de PET reciclado mostraram-se eficazes na atenuação do ruído de impacto, mesmo com a ação da compressão ao longo do tempo. Conclui-se que o sistema *Light Steel Frame* apresenta potencial para atender aos parâmetros de desempenho acústico. Recomenda-se, no entanto, a realização de estudos mais aprofundados sobre os subsistemas de instalações hidráulicas, coberturas e combinações entre diferentes sistemas de vedação.

Palavras-chave: *Light Steel Frame*; desempenho acústico; vedação vertical externa; pisos; sistemas construtivos industrializados.

ABSTRACT

In Brazil, the building performance standard published in 2013 and revised in 2021 established new requirements for construction systems. Given the growing adoption of industrialized construction methods, this study aims to analyze the efficiency of the Light Steel Frame system in meeting acoustic performance requirements, identifying the subsystems most frequently evaluated under this criterion. The research methodology consisted of a bibliographic review conducted in three main stages. Initially, specialized journals were consulted, including the electronic journal of the University of Campinas, the Journal of the Brazilian Acoustical Society, and the scientific journal portal of the National Association of Built Environment Technology. Subsequently, the search extended to the CAPES journal portal and finally to Google Scholar. The results indicate a recurring concern with measuring the acoustic performance of the subsystems that make up the Light Steel Frame system, with emphasis on internal vertical sealing, external vertical sealing, and flooring systems. In the internal sealing system, the use of drywall combined with OSB (Oriented Strand Board) panels showed better acoustic performance compared to traditional solutions. Regarding the external sealing, magnesium oxide boards demonstrated superior performance to Portland cement-based boards, while expanded polystyrene (EPS) panels satisfactorily met the acoustic requirements. In the flooring system, cementitious boards with EVA residue and mats made from recycled PET proved effective in impact noise attenuation, even under long-term compression. It is concluded that the Light Steel Frame system shows potential to meet acoustic performance parameters. However, further studies are recommended on plumbing and roofing subsystems, as well as on combinations of internal, external, and horizontal sealing systems within the Light Steel Frame construction method.

Keywords: Light Steel Frame; acoustic performance; external vertical sealing; flooring; industrialized construction systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componente construtivo: Pilha de tijolos.....	16
Figura 2 - Elemento de vedação: Parede de Alvenaria.....	17
Figura 3 - Ciclo Fechado	20
Figura 4 - Ciclo aberto.....	21
Figura 5 – Subsistemas do Light Steel Frame: Estrutura, isolamento termoacústico e vedação vertical	24
Figura 6 - Perfis de Light Steel Frame.	26
Figura 7 - Módulos de banheiros prontos em <i>Light Steel Frame</i>	27
Figura 8 - Módulos prontos em Light Steel Frame	28
Figura 9 - Fixação do perfil em Laje Radier	29
Figura 10 - Ancoragem da guia inferior à sapata corrida.....	30
Figura 11 - Início de ancoragem definitiva com perfis duplos.	30
Figura 12 - Ancoragem provisória das guias na fundação	31
Figura 13 - Fita metálica e bloqueador no painel de Light Steel Frame.....	33
Figura 14 - Transferência de cargas em painel estrutural com abertura.....	34
Figura 15 - Abertura de vão em painel não estrutural.	35
Figura 16 - Estrutura para laje do tipo seca.	36
Figura 17 - Estrutura para laje do tipo úmida.....	37
Figura 18 - Treliça plana de perfis conformados a frio aplicada em cobertura.	38
Figura 19 - Estrutura de cobertura inclinada com caibros.	39
Figura 20 - Deformação esperada da cobertura inclinada com caibros.....	39
Figura 21 - Estrutura de telhado em Light Steel Frame com caibros.....	40
Figura 22 - Isolamento termoacústico em lã mineral.....	41
Figura 23 - Isolamento termoacústico em lã de vidro.....	41
Figura 24 - Transmissão e dissipação da energia sonora.	43
Figura 25 - Esquema com fechamento utilizando placa GlasRoc - X.....	45
Figura 26 - Esquema de fechamento externo com painéis de madeira.	46
Figura 27 - Esquema de fechamento externo com Siding Vinílico.....	46
Figura 28 – Sistema EIFS usado em Light Steel Frame	47
Figura 29 - Fluxograma de pesquisa no Portal de Periódicos CAPES.....	57
Figura 30 - Fluxograma de pesquisa no Google acadêmico.....	58
Figura 31 - Corte esquemático da parede com placa de fibrocimento e placa magnésiana.	61

Figura 32 - Gráfico: Valores de medição em campo comparados com a curva de referência da ISO 717-1 (ISO,2013).....	64
Figura 33 - Curva deslocada obtendo o valor da Diferença Padronizada de Nível Ponderada.	67

LISTA DE QUADROS

Quadros 1 - Vedações e acabamentos externos mais comuns no Light Steel Frame	44
Quadros 2 - Critério de desempenho mínimo, de isolamento a ruído aéreo de vedações externas – dormitórios.	51
Quadros 3– Critérios e níveis de desempenho para isolamento acústico a ruído aéreo de vedações externas - dormitórios.....	51
Quadros 4 - Critério e níveis de desempenho de isolamento a ruído aéreo de vedações externas – Salas	52
Quadros 5 - Critério de desempenho mínimo para ruído de impactos em sistemas de pisos.....	53
Quadros 6- Critérios e níveis de desempenho para ruído de impacto em sistemas de pisos para salas e dormitórios.	54
Quadros 7 - Critérios e níveis de desempenho para ruído aéreo em sistemas de pisos.	54
Quadros 8 - Resumo da metodologia e principais resultados obtidos.....	59
Quadros 9 - Diferença de nível padronizada e metodologia medição das placas utilizadas.	62
Quadros 10 - Uso e diferença das normas internacionais e brasileiras no desempenho acústico.	63
Quadros 11- Comparação entre os critérios da NBR 15575 e os resultados do estudo.	64
Quadros 12- Classe de ruído de acordo com exposição de ruído conforme localização da edificação.	65
Quadros 13- Nível de desempenho alcançado comparando com os critérios da NBR 15575-4 (ABNT,2021).	68
Quadros 14- Valores de referência, R_w , a isolamento a ruído aéreo em SVVI.	70
Quadros 15 - Relação entre o isolamento acústico e o impacto na estrutura.	72
Quadros 16 - Desempenho acústico ao longo do tempo - Placa com EVA e Manta com PE.....	76
Quadros 17 - Pesquisas correlacionadas com a diretriz SINATI.....	77
Quadros 18 - Correlação dos critérios da diretriz SINATI e tipo de medição.Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - – Parâmetros medidos para cada valor de frequência para obtenção da diferença padronizada de nível.	67
Tabela 2 - Isolamento sonoro a ruídos aéreos em laboratório (Rw) e massa por m ² para diferentes sistemas.	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa e motivação.....	12
1.2 Objetivo Geral e Objetivos Específicos	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
2.1 Sistemas Construtivos	15
2.1.1 Definição e Classificação dos Processos Construtivos	15
2.1.1.1 Processo construtivo	17
2.1.2 Conceito de Industrialização e Racionalização.....	18
2.1.3 Ciclo fechado, aberto e flexível	19
2.2 Light Steel Frame (LSF)	22
2.2.1 Definição e histórico de uso	22
2.2.2 Principais componentes do Sistema	25
2.2.2.1 Tipos de perfis.....	25
2.2.2.2 Métodos de Construção	26
2.2.2.3 Tipos de Fundação.....	28
2.2.2.4 Painéis	31
2.2.2.5 Lajes.....	35
2.2.2.6 Cobertura (Plana, inclinada com Tesouras e com Caibros)	37
2.2.2.7 - Isolamento termoacústico e vedações	41
2.3 Norma de Desempenho NBR 15575	47
2.3.1 Métodos e Parâmetros de Avaliação Acústica.....	47
2.3.1.1 Sistemas de vedações verticais e pisos.....	47
2.3.1.2 Parâmetros e Critérios de Classificação Acústica	49
2.3.2 Classificação e Aplicação dos Critérios Acústicos	50
2.3.2.1 Vedações externas.....	50
2.3.2.2 Vedações internas.....	52
2.3.2.3 Sistemas de piso	53
2.3.3 Desempenho Acústico na Implementação da NBR 15575: Desafios e Necessidades dos Usuários	55

3.0	METODOLOGIA.....	56
4.0	RESULTADOS.....	60
4.1	Desempenho acústico em fachadas - comparação entre placas feitas com cimento e placas com óxido de magnésio	60
4.2	Desempenho acústico em fachadas - estudo de caso em Guarapuava - PR	66
4.3	Análise da influência de sistemas de vedação verticais internos na carga de estrutura de edificações visando o desempenho acústico.....	69
4.4	Desempenho Acústico de Materiais Resilientes no Isolamento ao Ruído de Impacto	73
4.5	Diretriz SINATI	77
5.0	DISCUSSÕES	79
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e a busca por edificações mais sustentáveis e eficientes impulsionaram o desenvolvimento de novos sistemas construtivos. Entre eles, o *Light Steel Frame* (LSF) tem se destacado por suas vantagens em termos de sustentabilidade, rapidez na execução e desempenho estrutural. No entanto, um dos desafios desse sistema é garantir um isolamento acústico adequado, especialmente em comparação com métodos construtivos convencionais, como a alvenaria.

No Brasil, o desempenho acústico das edificações é regulamentado pela NBR 15575 (ABNT, 2021) – Edificações Habitacionais – Desempenho, que estabelece critérios e requisitos mínimos para conforto acústico em habitações. Assim, torna-se fundamental avaliar como o sistema *Light Steel Frame* atende a essas exigências e quais são as soluções aplicáveis para aprimorar seu desempenho acústico.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma pesquisa sobre o sistema *Light Steel Frame* com ênfase no seu desempenho acústico, analisando estudos que investigam sua eficácia em relação ao isolamento de ruídos aéreos e de impacto. A partir dessa análise, busca-se identificar os principais desafios, vantagens e estratégias para otimizar o conforto sonoro em edificações que utilizam essa tecnologia.

Com isso, espera-se contribuir para uma melhor compreensão do comportamento acústico do LSF e fornecer subsídios para futuros projetos que busquem aliar inovação construtiva e conforto ambiental.

1.1 Justificativa e motivação

A escolha do tema " Uma revisão bibliográfica do sistema construtivo *Light Steel Frame* com ênfase em desempenho acústico" é fundamentada na necessidade de analisar um fator específico da norma de desempenho, o desempenho acústico do sistema *Light Steel Frame*, para compreender se o sistema busca atender e, se de fato atende, os requisitos mínimos da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Desde a criação e publicação da norma de desempenho nas edificações, a norma 15575 (ABNT, 2021), em 2013, as novas edificações têm que se adaptar à questão dos parâmetros de desempenho nas edificações, que, ao mesmo tempo que é essencialmente técnica, também diz respeito ao conforto do usuário. A norma traça diversos parâmetros a serem observados para que as construções sejam classificadas com o mínimo de desempenho a depender do uso da construção.

Sendo assim, todo e qualquer sistema construtivo, independente dos materiais ou das técnicas construtivas a serem utilizadas, deve passar simulações computacionais e por ensaios técnicos para saber se atende ou não aos requisitos de desempenho.

Essa questão é de suma importância para a construção civil, pois todo sistema construtivo deve atender aos parâmetros mínimos de desempenho, e isso motiva o uso de novas tecnologias por parte das construtoras.

Considerando o crescimento do uso do *Light Steel Frame* no Brasil, torna-se essencial investigar suas características acústicas, uma vez que o conforto sonoro é um dos fatores determinantes para a qualidade dos ambientes construídos.

1.2 Objetivo Geral e Objetivos Específicos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma pesquisa sobre o sistema construtivo *Light Steel Frame* e analisar trabalhos já existentes que tratam do desempenho acústico desse sistema, buscando compreender sua eficácia no isolamento de ruídos aéreos e de impacto, além de avaliar como essa tecnologia atende às exigências estabelecidas pela norma NBR 15575 (ABNT, 2021) – Edificações Habitacionais – Desempenho.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Fazer uma pesquisa mais detalhada sobre o sistema Construtivo *Light Steel Frame*

2. Analisar as características acústicas do sistema construtivo *Light Steel Frame*, no que se refere ao desempenho ao isolamento de ruídos aéreos, nos sistemas de vedação de fachadas, identificando os principais fatores que influenciam seu desempenho.
3. Analisar pesquisas que comparem o desempenho acústico do *DryWall* com outros sistemas construtivos utilizados no Brasil, como alvenaria de bloco celular e alvenaria de bloco de concreto, considerando a eficácia dos diferentes subsistemas em termos de isolamento acústico e conforto sonoro.
4. Identificar o desempenho acústico com relação ao uso de materiais isolantes usados em subsistemas de piso, de forma a atender às exigências da NBR 15575 (ABNT, 2021)

2.1 Sistemas Construtivos

Segundo Camacho (2001), “sistema construtivo é um processo construtivo de elevado nível de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.”

Essa definição parece estar intrinsecamente relacionada aos sistemas construtivos industrializados, nos quais a padronização, a pré-fabricação e a integração entre os processos são características predominantes.

Por outro lado, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, p. 31), com base na ABNT NBR 15575:2013, define sistema construtivo como “a maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define”. Trata-se, portanto, de uma definição mais ampla, que abrange tanto os sistemas convencionais quanto os racionalizados e industrializados.

Dessa forma, observa-se que, embora as definições apresentem enfoques distintos, elas se complementam. Enquanto Camacho enfatiza um sistema construtivo com organização e alto grau de industrialização, a definição normativa compreende qualquer arranjo funcional da edificação, desde que desempenhe uma macrofunção no conjunto da obra, independentemente da tecnologia empregada, trazendo uma definição mais genérica aplicada a todos os sistemas construtivos. Ambas as definições se complementam desde que inseridas em seus diferentes contextos.

2.1.1 Definição e Classificação dos Processos Construtivos

Ainda segundo a ABNT NBR 15575-1:2021, são definidos alguns conceitos fundamentais para o entendimento do sistema construtivo:

“Componente – unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (exemplo: bloco cerâmico ou de concreto, telha, folha de porta etc.) ” (ABNT 15575, 2021, p. 09).

“Elemento – parte de um sistema com funções específicas. Geralmente composto por um conjunto de componentes. Exemplos: vedação de blocos, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura. ” (ABNT 15575, 2021, p. 10).

Ou seja, pode-se perceber que o bloco cerâmico isolado é um componente que atende a uma demanda específica de vedação, por exemplo. No entanto, o conjunto de blocos com argamassa, formando a parede de vedação, é um elemento da construção.

Isso porque ele passa a integrar o sistema de vedação e, assim, não se comporta apenas como um insumo, mas como um elemento construtivo, cuja estrutura básica já atende a uma demanda da edificação.

A figura 1 e a figura 2, respectivamente, mostram a diferença de componente construtivo para elemento construtivo.

Figura 1 - Componente construtivo: Pilha de tijolos



Fonte: Tijolos SA

Figura 2 - Elemento de vedação: Parede de Alvenaria



Fonte: Construindo casas

O tijolo cerâmico isolado como componente pode ter várias funções, pode ser usado em uma alvenaria de vedação, como também pode ser usado para o enchimento de uma escada juntamente com o aterro. Porém, o elemento já denuncia a função a que será utilizado. Elemento de escada já traz consigo a função de acessar pavimentos ou ambientes, enquanto a função de uma parede de alvenaria está destinada à vedação. Com isso, fica mais clara a distinção entre componente e elemento construtivo.

Com essas definições, pode-se considerar que o Sistema Construtivo de *Light Steel Frame* é um sistema construtivo, pois cumpre várias macrofunções que o definem, como, por exemplo, vedações verticais, cobertura e estrutura, bem como as instalações hidráulicas e elétricas, tem particularidades de instalação influenciadas pela forma de vedação e estrutura, caracterizando o sistema construtivo como uma forma particular de projeto e execução.

2.1.1.1 Processo construtivo

Tem-se como definição de processo construtivo aplicado à edificação o seguinte conceito: “Formado por entradas ou insumos (materiais, componentes, energia, água, mão de obra e equipamentos), processos de transformação (mais ou menos

elaborados – equipamentos manuais ou mecânicos, ou tecnologias mais ou menos avançadas ou industrializadas)” (ABDI, 2015, p. 32).

Esse mesmo manual define que os processos construtivos podem ser classificados como: “tradicional (com o uso de técnicas artesanais), convencional (caracterizado por tecnologias normalmente utilizadas no mercado, com maior tempo de execução), racionalizado (que é caracterizado pela melhoria gradativa dos processos convencionais), e industrializado ou pré-fabricado.”

Linner e Bock (2012) afirmam que a industrialização, no setor da construção civil, se deu a partir do deslocamento dos processos convencionais para a fábrica, combinado com elementos da produção seriada por meio da pré-fabricação de componentes.

Sendo assim, o *Light Steel Frame* representa um sistema construtivo que utiliza o processo construtivo industrializado, em que acontece a produção de componentes construtivos em fábrica para montagem no canteiro de obras, além disso, sendo um processo de industrialização racionalizada, ou seja, em que há melhora das tecnologias utilizadas para permitir melhor controle de produção e menos desperdício.

2.1.2 Conceito de Industrialização e Racionalização

Blachère (1978) sugere que a industrialização transforma as ações artesanais que têm alto grau de variabilidade em processos com maior controle de qualidade, visto que a execução de subprocessos, antes feitos no canteiro de obras, é caracterizada pela uniformidade de execução da indústria, caracterizada por operações mecanizadas.

Lago, Souza e Souza (2012) explicam que a racionalização na construção civil é fundamental para aumentar a produtividade, velocidade de execução e qualidade do produto final, por meio da padronização e sequenciamento de atividades, minimizando retrabalhos e esperas.

Segundo Ribeiro (2002), a racionalização de um processo construtivo é “um conjunto de ações que visam substituir as práticas convencionais por tecnologias baseadas em

sistemas que visam eliminar o empirismo das decisões” e é indispensável na industrialização.

Ou seja, percebe-se que ambos os conceitos se referem a otimizar processos, mas a industrialização passa necessariamente pelas operações mecanizadas, enquanto que a racionalização pode ser feita de forma que se aprimorem os métodos de execução.

Geralmente, o processo de racionalização é acompanhado pelo processo de industrialização, pois este tem o poder de reduzir o tempo de execução das tarefas que são realizadas de forma artesanal.

Porém, a industrialização pode não ser racionalizada se for executada de forma desorganizada e sem a análise consciente de que o processo industrial também precisa ser ordenado e coeso.

Em resumo um processo racionalizado é caracterizado pela melhoria gradativa dos processos convencionais, fazendo com que o mesmo pode ser continuamente melhorado, seja através de novas tecnologias ou pela melhor organização e controle de qualidade industrial.

Em suma, há diferenças nos conceitos de industrialização e racionalização, que de forma objetiva, o primeiro é a mecanização da produção, e o segundo é o ato de ordenar os processos produtivos (que podem ser mecanizados ou não) de forma a reduzir tempo e desperdícios. Porém, percebe-se que a industrialização deve ser acompanhada da racionalização para que haja contínuas melhorias no sistema produtivo.

2.1.3 Ciclo fechado, aberto e flexível

Conforme aponta Sulmoneti (2018) em breve histórico dos ciclos dos sistemas industriais, o *ciclo fechado* surgiu em um período pós-segunda guerra mundial com necessidade de reconstrução mais rápida de toda a estrutura dos países que participaram da guerra. Ele é caracterizado pela fabricação de todos os elementos em série por um mesmo fornecedor ou fábrica para que fossem montados na obra. A grande desvantagem desse sistema é justamente ser projetado para que apenas o fornecedor ou fábrica de origem fosse capaz de interligar o sistema, sendo que a sua vantagem é ser utilizado em projetos de grande personalização.

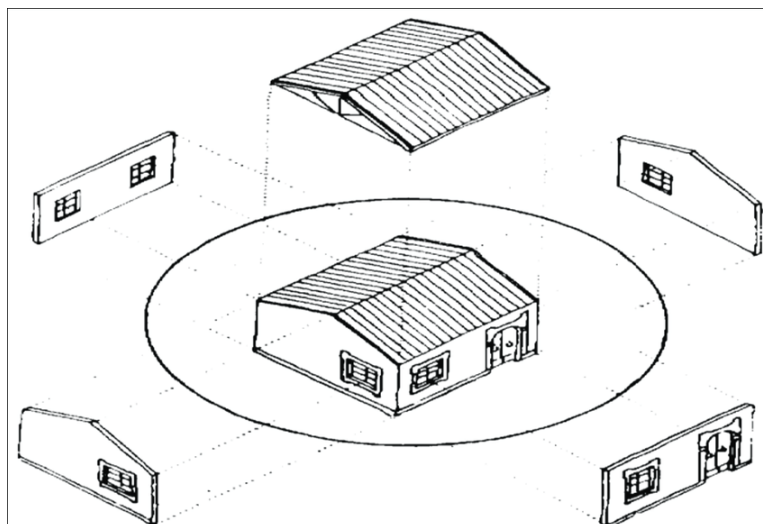
Após passar o período mais subsequente da guerra, entre 1970 e 1980, houve necessidade de revisão na forma de pré-fabricação, pois, ainda segundo Sulmonetti (2018), houve acidentes com o uso de pré-fabricados e precisou-se utilizar um sistema que se adequasse a um sistema já existente, levando ao surgimento do *ciclo aberto* de produção. Para Ferreira (2003), os sistemas industrializados de Ciclo aberto surgem com uma proposta de compatibilidade com os elementos e subsistemas já existentes. Sendo assim, não precisam ser do mesmo fabricante, pois nesse tipo de sistema os componentes serão padronizados para ter uma base de utilização mais geral, podendo os elementos serem interligados a outros de diferentes fabricantes.

Elliot (2002) comenta que surgiram na Europa os sistemas de *ciclo flexibilizados*, em que tanto o projeto quanto componente e sistemas são flexibilizados para se adequar a qualquer tipologia arquitetônica. Conforme o Manual de Construção Industrializada (2015), é considerada uma terceira geração de pré-fabricação por ter elementos, componentes e sistemas e projetos abertos, se diferenciando do ciclo aberto em que os elementos eram abertos para que se adaptassem aos subsistemas, mas não eram tão flexíveis ao ponto de conterem projetos e sistemas abertos.

No ciclo fechado, Segundo Ribeiro (2002), “o objeto da construção é decomposto em partes que são capazes de ser conectadas, para ser obtido aquele tipo de edificação.” Os componentes vão ser adaptados a esse tipo específico de edificação e somente a ela, não sendo possível adequá-los em outro tipo de edificação.

Por exemplo, os painéis de vedação (componentes que podem ser formados por alvenaria, drywall ou light wall) vão ser produzidos na indústria e já vão ir prontos para o canteiro, porém só serão produzidos para aquela obra específica e serão encaixados apenas nela, sendo apenas o fabricante capaz de produzi-la. A figura 3 ilustra o ciclo fechado.

Figura 3 - Ciclo Fechado

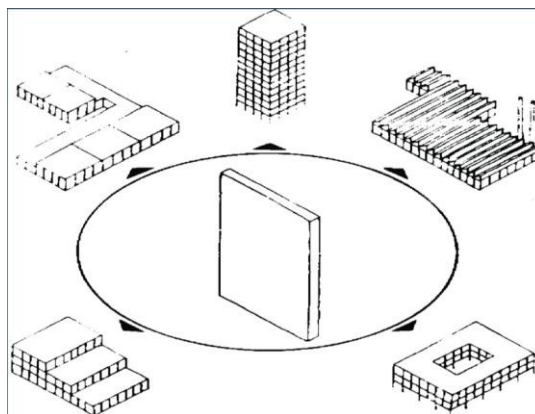


Fonte: Mandolesi - 1981

No *ciclo aberto*, um mesmo elemento (parede, painéis de vedação) pode ser utilizado em diferentes tipos de edificações, pois é projetado para ser mais flexível, e conforme ressalta Ribeiro (2002), esse componente não precisa passar por um projeto preliminar para ser produzido, apenas uma demanda com os parâmetros necessários à fabricação. Com isso, esse elemento pode ser mais versátil em sua utilização, independente da forma que foi construído o edifício.

Mandolesi (1981) enumera algumas vantagens e finalidades do uso desse sistema, como, por exemplo, a limitação dos custos de instalação por meio da criação de empresas produtoras especializadas. Isso traz uma gama de variedade ao cliente final, pois sabe que poderá escolher a empresa que instalará ou produzirá o elemento a ser usado em sua construção ou reforma, obtendo como parâmetro o custo de várias empresas especializadas. A figura 4 ilustra o ciclo aberto.

Figura 4 - Ciclo aberto



Fonte: Mandolesi, 1981.

Esse modelo caracteriza o ciclo aberto, no qual há maior flexibilidade quanto ao tamanho da série de produção. Sistemas como o drywall podem ser aplicados em qualquer ambiente que exija vedação, sem necessidade de projeto exclusivo para cada situação. O fabricante necessita apenas de informações básicas, como área de fechamento, altura da parede e existência de vãos para portas ou janelas.

2.2 *Light Steel Frame* (LSF)

2.2.1 *Definição e histórico de uso*

De acordo volume “*Steel Frame: Arquitetura*” da série *Manual de Construção em Aço* do CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço, o *Light Steel Frame* é:

O *Light Steel Frame* é um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado que são utilizados para a composição de painéis estruturais e não-estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes. (Santiago *et al.*, 2012, p. 15)

Por essa definição, pode-se observar a versatilidade do sistema industrializado de ciclo aberto no qual o *Light Steel Frame* faz parte, porquanto pode trabalhar com outros subsistemas de forma cooperativa (possibilidade de aplicação em conjunto com diferentes materiais). Segundo o Manual da Construção Industrializada, é um sistema construtivo flexível e racionalizado, pois tem pouca restrição de projeto (flexibilidade) bem como permite controle de gastos desde a fase de projeto, evitando assim desperdícios. (*Racionalização*).

Pela definição de Gomes (2013), tem-se que o *Light Steel Frame* é “...um sistema construtivo que consiste na utilização exclusivamente de materiais ‘secos’, como, por exemplo, os perfis de aço formados a frio, as placas de vedação e as lãs de rocha ou de vidro para isolamento térmico.”

Essa definição anterior que enfatiza os subsistemas e componentes do *Light Steel Frame* é complementada pelo Manual Steel Frame: Arquitetura, conforme definição:

O sistema LSF não se resume apenas a sua estrutura, sendo composto de vários componentes e subsistemas. Esses subsistemas são, além do estrutural, de fundação, de isolamento termo acústico, de fechamento interno e externo, e instalações elétricas e hidráulicas. (Santiago *et al.*, 2012, p.12).

Quanto ao sistema estrutural do *Light Steel Frame*, de acordo volume “Steel Frame: Engenharia” da série Manual de Construção em Aço do CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço, que é dedicado a dimensionamento do para uso estrutural, o conceito principal do projeto é “dividir a estrutura em várias quantidades de elementos estruturais de maneira que cada uma resista a uma pequena parcela da força total aplicada” (Rodrigues; Caldas, 2016, p. 21).

No tocante ao sistema estrutural total do *Light Steel Frame*, ele pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os verticais e os horizontais:

Os subsistemas horizontais precisam ser suportados pelos subsistemas verticais. Ao mesmo tempo, os subsistemas verticais são geralmente esbeltos no tocante a uma ou ambas as dimensões da seção transversal (em relação à altura total do edifício), e não são muito estáveis por si próprios. Eles precisam ser mantidos em posição pelos subsistemas horizontais. Os subsistemas horizontais recebem e transmitem, para os subsistemas verticais, as cargas de piso e teto através de flexão e as forças horizontais através da ação de diafragma. (Rodrigues; Caldas, 2016, p. 21).

Conforme será apresentado mais adiante, “os subsistemas verticais são os painéis que compõem paredes com função estrutural com capacidade de transmitir tanto cargas verticais quanto forças horizontais para a fundação da edificação.” (Rodrigues; Caldas, 2016, p. 21). Com relação ao subsistema vertical tem-se que:

Os subsistemas verticais são compostos por perfis Ue denominados de montantes (...), que transmitem as forças verticais através de suas almas, mesas e enrijecedores por contato direto com as guias inferiores, estando suas seções coincidentes com as dos montantes dos pavimentos imediatamente inferiores. Esta descrição é que dá origem ao conceito de estrutura alinhada (ou “in line framing”). (Rodrigues; Caldas, 2016, p. 21).

Os subsistemas horizontais incluem guias, vigas e enrijecedores ligados aos painéis com parafusos, enquanto os verticais são montantes Ue alinhados entre os pavimentos. “Os subsistemas horizontais são compostas pelas guias de entrepiso em perfis U, vigas de piso em perfis Ue, perfis enrijecedores de alma nos apoios das vigas e os elementos de ligação com os painéis de parede” (Rodrigues; Caldas, 2016, p. 21).

A figura 5 resume alguns subsistemas encontrados no *Light Steel Frame*, como por exemplo, subsistema de isolamento termoacústico, estrutura e vedação (externa ou interna) com acabamentos.

Figura 5 – Subsistemas do *Light Steel Frame*: Estrutura, isolamento termoacústico e vedação vertical



Fonte: Grupo Isofort

Apesar de não ser utilizado em larga escala no Brasil como um todo, o histórico da necessidade de uso de um novo sistema construtivo remete ao século 19, conforme afirma Marinho (2020), com a “marcha para o Oeste”, um movimento territorialista que buscava soluções para os problemas habitacionais existentes nos EUA. Além disso, o uso da madeira começou a ficar mais restrito devido ao endurecimento das legislações ambientais vigentes. Isso fez com que a madeira usada reduzisse a qualidade das habitações, sem contar o encarecimento devido à dificuldade de oferta da madeira em larga escala.

Juntando esses fatores à necessidade de urgência para o problema habitacional e, posteriormente, à abundância de aço, devido à Segunda Guerra Mundial já em meados do século XX, se deu início à industrialização desse sistema construtivo.

O sistema se tornou mais forte nos Estados Unidos, onde se iniciou a necessidade de utilização e sendo mais difundido e conhecido no Brasil a partir do final da década de 90, sendo aplicado em residências e trazendo vantagens tecnológicas e agilização do processo de construção para o consumidor final e para o construtor.

Enquanto no Brasil se começava a construir em *Light Steel Frame* no final da década de 90, no mesmo período estima-se que nos EUA, 25% das casas que foram construídas utilizaram esse sistema construtivo. (Bateman, 1998 *apud* CBCA, 2006).

2.2.2 Principais componentes do Sistema

2.2.2.1 Tipos de perfis

Como já foi apresentado acima, no tópico de definição dos conceitos de *Light Steel Frame*, pode-se observar que o principal componente desse sistema é a estrutura que se forma através dos perfis formados a frio de aço galvanizado, podendo ser usado para composição de painéis estruturais ou não. Com isso, cabe conhecer melhor o tipo de perfil que pode ser utilizado através da NBR 15253 (ABNT, 2005)

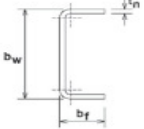
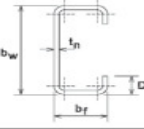
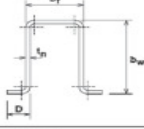
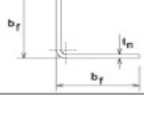
Como apresentado por Santiago *et al.* (2012), existem perfis típicos para uso no sistema construtivo. O processo de fabricação desses perfis é feito através de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga de alumínio-zinco, por dois processos de deposição desses metais diferentes: a imersão a quente ou a eletrodeposição. Conforme a NBR 15253 (ABNT, 2005) resume, irão existir três tipos usuais de revestimentos: Zincado pelo processo de imersão a quente, zincado por eletrodeposição e Liga de Alumínio-Zinco por imersão a quente.

Existem também massas mínimas de revestimento de zinco que devem ser depositadas para garantir a proteção da estrutura. Para o zinco, deve ser garantido que 180 gramas sejam depositadas por metro quadrado, enquanto que para a liga de alumínio e zinco o mínimo de 150 gramas deve ser depositado por metro quadrado. Essas exigências normativas são para perfis estruturais. Para perfis não estruturais, a massa mínima de revestimento para todos os 3 casos acima é de 100g/m².

Também existem as seções transversais mais comuns nas edificações em *Light Steel Frame*, que são as com formato em “C” ou “U” enrijecido (Ue), que é mais usual em montantes e vigas, e “U”, que é usado como guia na base e no topo dos painéis.

(Santiago *et al.*, 2012). A figura 6 resume os tipos mais usuais de perfis usados no sistema construtivo *Light Steel Frame*.

Figura 6 - Perfis de *Light Steel Frame*.

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples $U \ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $Ue \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L \ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

Fonte: Santiago et al., 2012.

2.2.2.2 Métodos de Construção

Existem 3 métodos mais usuais para a construção de edificações em *Light Steel Frame*: são eles: 1 - Método “Stick”; 2 - Método por painéis; 3 - Construção Modular.

No método *Stick*, os perfis são cortados no canteiro de obra, não necessitando necessariamente de um local de preparação para o corte e perfuração dos perfis. “Nesse método de construção, os perfis são cortados no canteiro de obras, e painéis, lajes e colunas, contraventamentos e tesouras de telhados são montados no local” (Santiago *et al.*, 2012). Como desvantagem desse método, é que terão mais etapas na obra, aumentando o tempo de execução global e, por consequência, o gasto com mão de obra dentro do canteiro. Em contrapartida, para obras em que não é viável um local de pré-fabricação (corte e pré-montagem dos painéis e outros componentes), é uma alternativa eficiente.

No *método por painéis*, utiliza-se a pré-fabricação dos componentes, ficando apenas a etapa de conexão dos painéis e subsistemas na obra, utilizando parafusos auto-

brocantes e auto-atarrachantes. Essa é a principal diferença para o método Stick, conforme explica Santiago *et al.*, (2012).

Painéis estruturais ou não estruturais, contraventamentos, lajes, e tesouras de telhado podem ser pré-fabricados fora do canteiro de obras e montados no local. Alguns materiais de fechamento podem também ser aplicados na fábrica para diminuir o tempo de construção (Santiago *et al.*, 2012, pág .25).

Esse método tem a vantagem de minimizar erros na obra, pois existe um maior controle de qualidade na produção dos subsistemas e dos elementos (painéis) devido às melhores condições de produção na fábrica. No Brasil, esse método é o mais utilizado, pois se adapta melhor à cultura das empresas. No método por painéis “é possível também estabelecer um local para a fabricação na própria obra, porém isso vai depender de disponibilização de espaço e mão de obra qualificada” (Santiago *et al.*, 2012).

A *construção modular* é um método altamente industrializado, pois a pré-fabricação inclui não somente a montagem dos elementos (painéis, tesouras, etc.), como também a montagem da unidade com todos os subsistemas montados e interligados naquela unidade de produção.

A unidade pode ser um ambiente específico da residência, como por exemplo, a fabricação de banheiros modulares que são entregues na obra com todos os acabamentos internos, como revestimentos, louças sanitárias, bancadas, mobiliários fixos, instalações elétricas e hidráulicas etc. A figura 7 ilustra os módulos de banheiros prontos entregues em obra.

Figura 7 - Módulos de banheiros prontos em *Light Steel Frame*



Fonte: Santiago *et al.*, 2012, p.20.

As unidades podem ser estocadas lado a lado, ou uma sobre as outras na forma de construção final. Segundo Santiago *et al.* (2012), a grande vantagem desse método é onde existem grandes repetições de módulos, geralmente em obras comerciais, e também em obras de grande porte. A figura 8 ilustra a fabricação de módulos em *Light Steel Frame* que podem ser usados para compor diversos ambientes.

Figura 8 - Módulos prontos em *Light Steel Frame*



Fonte: Galeria da Arquitetura

2.2.2.3 Tipos de Fundação

No caso em que as paredes são compostas por perfis de função estrutural, os montantes irão transferir menor esforço solicitante à fundação, contudo, devido à carga ser uniformemente distribuída entre os perfis, a fundação deve ser contínua, suportando os painéis em toda a sua extensão.

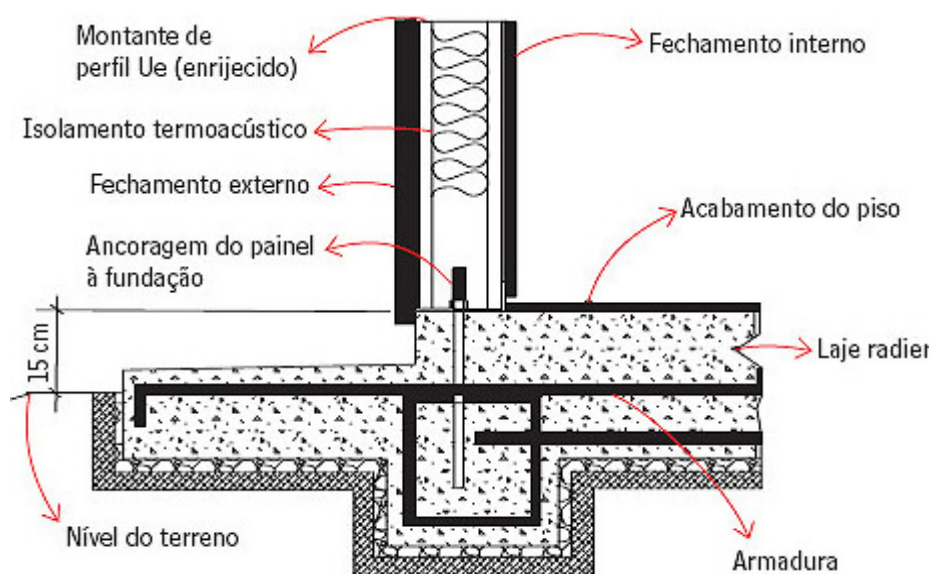
A escolha do tipo de fundação vai depender do tipo de solo e suas características, que vão ser detalhadas em um perfil de sondagem do terreno. Segundo Santiago *et al.* (2012), as fundações vão ser efetuadas de acordo com o processo tradicional de execução para qualquer tipo de construção, observando assim, fatores como isolamento contra umidade através de impermeabilização, dentre outros.

Os tipos de fundações mais usuais nesse sistema construtivo são: 1- Radier; 2 - sapata corrida ou viga baldrame.

Na execução da fundação com *Radier*, Santiago *et al.* (2012) explica que devem ser observadas algumas condições, como, por exemplo, se o contrapiso está a uma altura de no mínimo 15 cm da altura do solo e se nas calçadas ao redor da construção, em que serão garagens e calçadas, possibilita o escoamento através de uma inclinação mínima de 5%.

Para a fixação ou ancoragem dos painéis com a fundação, pode-se utilizar a ancoragem química com barra roscada ou a ancoragem expansível com utilização de parabolts. Tanto os tipos de fixadores quanto suas dimensões são definidos conforme cálculo do dimensionamento estrutural. A figura 9 ilustra a fixação do perfil em radier.

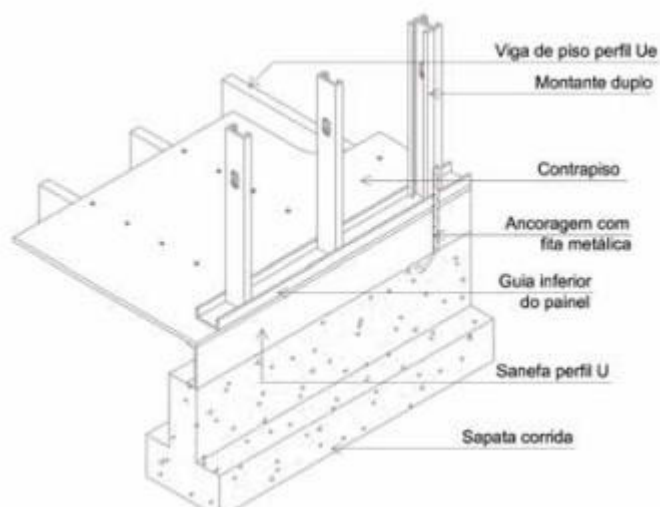
Figura 9 - Fixação do perfil em Laje Radier



Fonte: Modelar projetos

Na sapata corrida ou viga baldrame, a ancoragem também pode ser feita em sapata corrida, cujo detalhe não diferencia muito da fixação no radier, podendo ser ancorada das mesmas formas apresentadas acima. A figura 10 mostra um detalhe de ancoragem em sapata corrida que se realiza com fita metálica.

Figura 10 - Ancoragem da guia inferior à sapata corrida



Fonte: Santiago *et al.* (2012), pág. 27

A figura 11 mostra o detalhe da chapa de reforço utilizada para colocação da ancoragem. A chapa encosta na face externa do montante vertical e é assentado no encontro entre esse montante vertical e o montante guia inferior, onde a ancoragem será feita.

Figura 11 - Início de ancoragem definitiva com perfis duplos.



Fonte: Santiago *et al.* (2012), pág. 28

Para que se possa nivelar o montante e os painéis são feitas ancoragem provisórias e posteriormente é realizada, com chapa de reforço na extremidade inferior do montante, a ancoragem definitiva que já foi mostrada na ilustração anterior. Note que

a ancoragem provisória é realizada com apenas o montante simples enquanto a ancoragem definitiva é feita com montantes duplos e a chapa de reforço para execução de ancoragem é colocada na face em que não possui as dobras. A figura 12 ilustra o processo de ancoragem provisória.

Figura 12 - Ancoragem provisória das guias na fundação



Fonte: Santiago et al. (2012), pag. 29.

2.2.2.4 Painéis

No sistema de *Light Steel Frame* os painéis são divididos em: 1- painéis estruturais ou autoportantes; 2 - painéis de vedação.

Os *painéis estruturais* estão sujeitos a suportar os mesmos tipos de solicitações que os pilares e vigas de concreto em sistema tradicional, enquanto que os *painéis de função não estrutural* têm o objetivo de vedação que por sua vez irá exercer a mesma função das paredes em construções tradicionais. Sobre a função estrutural dos painéis estruturais pode-se afirmar que:

Os painéis estruturais estão sujeitos a cargas horizontais de vento ou de abalos sísmicos, assim como a cargas verticais praticadas por pisos, telhados e outros painéis. Essas cargas verticais são originadas do peso próprio da

estrutura e de componentes construtivos e da sobrecarga devido à utilização (pessoas, móveis, máquinas, águas pluviais, etc). Portanto, a função dos painéis é absorver esses esforços e transmiti-los à fundação. (Santiago *et al.*, 2012, pág. 33)

A composição dos painéis se resume em: 1- elementos verticais; 2 - elementos horizontais.

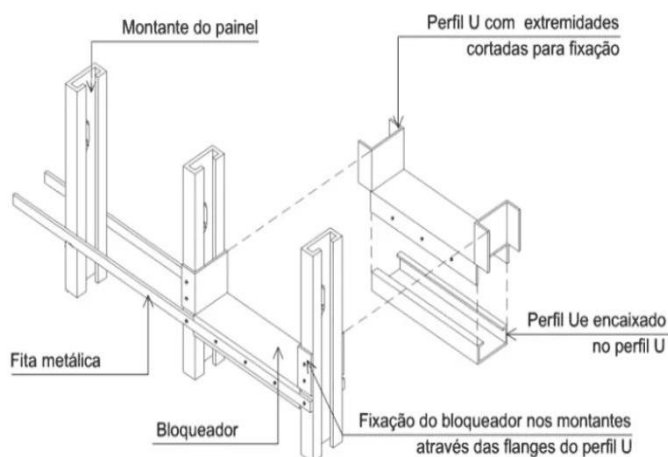
Os *elementos verticais* são compostos de perfis do tipo “Ue” que funcionarão como pilares e “...transferem a carga vertical por contato direto através de suas almas, estando suas seções em coincidência de um nível a outro, dando origem ao conceito de estrutura alinhada” (Santiago *et al.*, 2012).

Os *elementos horizontais* podem estar se comportando como vigas ou como guias. De forma geral, quando o elemento se comporta como viga, é composto de um perfil do tipo “Ue” e é classificado como um montante, e quando tem a função de guia, é um elemento horizontal de seção transversal do tipo “U”. “As guias não devem transmitir nem absorver esforços, sendo isto feito pelos montantes, vigas e eventualmente pilares presentes na estrutura” (Santiago *et al.*, 2012). Em resumo, o que diferencia as guias dos montantes é a absorção e transferência de esforços.

“A fita metálica evita a rotação dos montantes quando sujeitos a carregamentos normais de compressão, além de diminuir o comprimento de flambagem dos mesmos.” (Santiago *et al.*, 2012).

A fita metálica exerce função de travamento e pode ser composta de perfis “Ue” ou perfis “U”. Já os bloqueadores têm a função de enrijecer o painel estrutural e são formados por perfis “Ue” e perfis “U” em conjunto, possuindo uma função de travamento e enrijecimento ao mesmo tempo. Abaixo, a figura 13 ilustra a diferença da fita metálica e do bloqueador.

Figura 13 - Fita metálica e bloqueador no painel de *Light Steel Frame*.

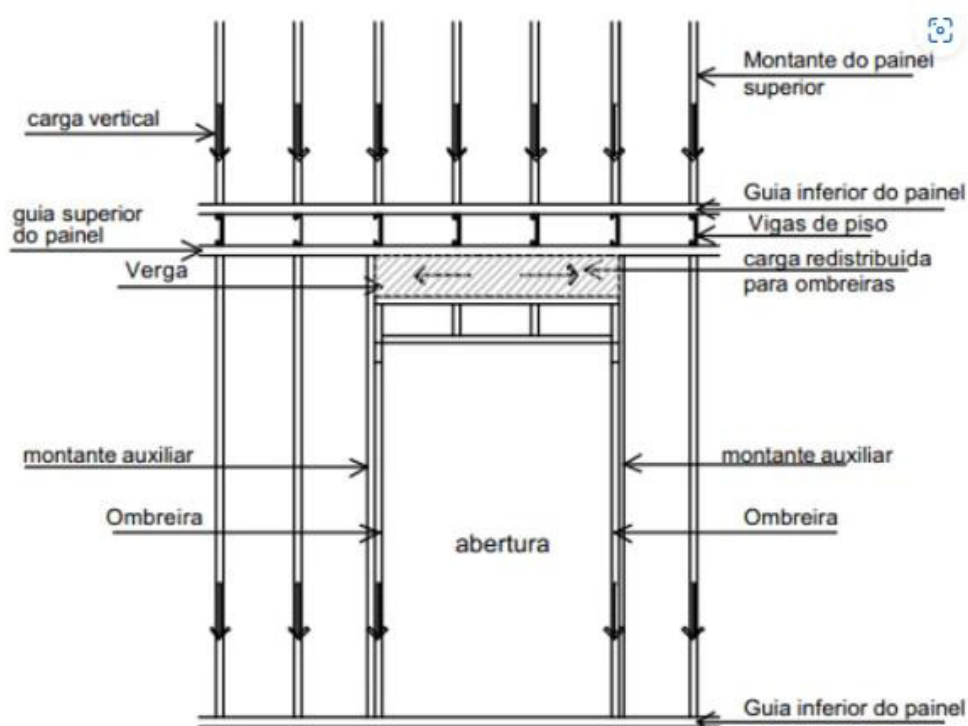


Fonte: Santiago *et al.* (2012), pág. 44

De acordo com o explicado por Monteiro (2020), quando se fazem aberturas em painéis estruturais, é necessário reforçar essa abertura com as vergas e contra-vergas. Os reforços na parte superior do vão são chamados de vergas, enquanto que os reforços na parte inferior do vão são chamados de contra-vergas. Esses elementos terão a função de transferir as cargas verticais, que serão descontinuadas devido à abertura do vão, e então redistribuir esses esforços para as ombreiras que, com o auxílio do montante auxiliar, serão responsáveis por resistir e transferir os esforços recebidos para a fundação, ou ainda, para o pavimento inferior.

A figura 14 abaixo ilustra a transferência de cargas sendo redistribuída pelas vergas e chegando às ombreiras.

Figura 14 - Transferência de cargas em painel estrutural com abertura.

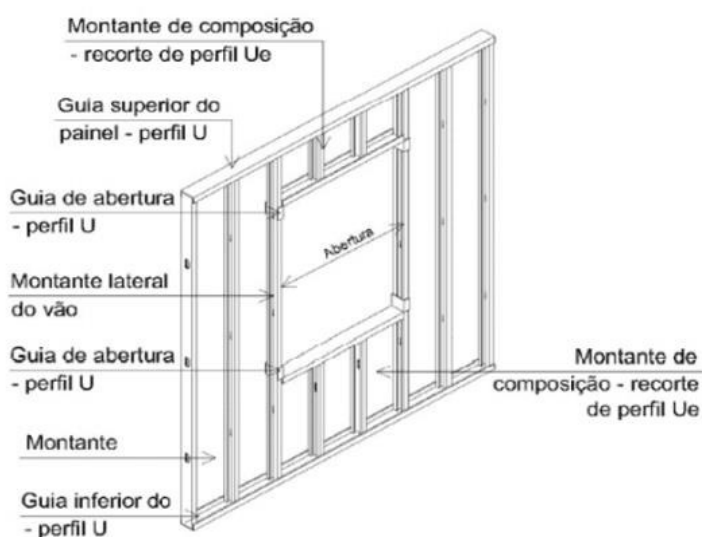


Fonte: Marinho, 2020

Vale ressaltar que as ombreiras têm dupla função. Uma delas, já explicada acima, é de suportar as cargas redistribuídas pelas vergas, bem como impedir movimentos de torção da verga e contra-verga em torno do seu próprio eixo, evitando o colapso da abertura. “Para os pequenos vãos, as peças de reforço podem ser formadas através da união de dois perfis, resultando em uma viga caixão, ou então através da utilização de dois perfis “U” unidos pela alma, formando um perfil I.” (Monteiro, 2020).

Já no caso de abertura em painéis não estruturais, não é necessário reforçar com vergas, contra-vergas e tampouco ombreiras, sendo apenas necessário os montantes de recomposição para manter o alinhamento da estrutura, os montantes laterais e as guias de abertura superior e inferior, com o objetivo de delimitar a abertura. Como ilustra a figura 15 as guias de abertura tanto na parte superior quanto na parte inferior são compostas por perfis “U”.

Figura 15 - Abertura de vão em painel não estrutural.



Fonte: Marinho, 2020, pág. 16

2.2.2.5 Lajes

Conforme resume e explica o conceito definido pela ABDI, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, tem-se que:

O conceito estrutural do sistema light steel framing, dividindo as cargas entre os perfis, também é utilizado para os elementos que suportam as lajes e coberturas. Seus elementos trabalham biapoiados e deverão, sempre que possível, transferir as cargas continuamente, ou seja, em elementos de transição até as fundações. (ABDI, 2015, Vol. 1, pág. 141)

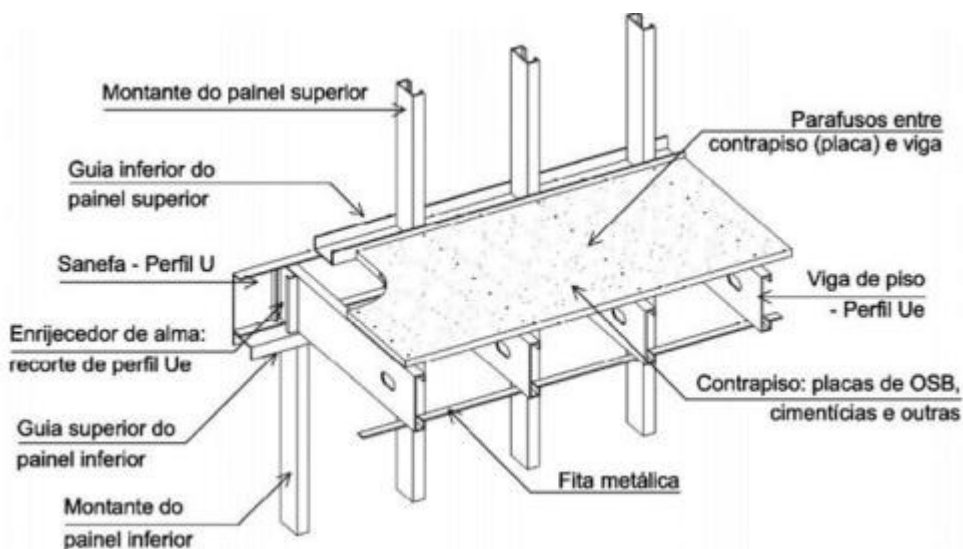
Ou seja, a lógica e o princípio do dimensionamento dos perfis da laje seguem a mesma ideia para os painéis e para a cobertura, “cuja separação equidistante dos elementos estruturais ou modulação é determinada pelas cargas a que cada perfil está submetido.” (Santiago *et al.*, 2012). A ABDI, em seu Manual de construção industrializada, no volume 1, explica que existem dois tipos de lajes: 1- lajes secas; 2- lajes úmidas.

A laje é definida como sendo do tipo *seca*, quando as placas rígidas de OSB, cimentícias ou outras são aparafusadas à estrutura do piso. A estrutura do piso é formada por perfis equidistantes formados geralmente, por vigas de piso tipo U enrijecido.

Para as *lajes secas*, são modeladas as estruturas da laje, similar à modelagem do painel estrutural, e acima da estrutura é colocada uma placa de OSB ou uma planta cimentícia. A estrutura composta pelos perfis da laje é chamada de vigas de entrepiso. Moreira (2020) também ressalta que no sistema de “laje seca” as placas OSB ou placas cimentícias irão desempenhar a função de contrapiso, sendo assentadas sobre as vigas de piso ou vigas de entrepiso, e dependendo das solicitações dos esforços e dos revestimentos que serão utilizados no piso, vai ocorrer variação da espessura da placa OSB ou cimentícia.

A figura 16 apresenta a estrutura de piso para a laje seca, bem como alguns elementos de travamento e tipos de perfis utilizados.

Figura 16 - Estrutura para laje do tipo seca.



Fonte: Marinho, 2020, pág. 26

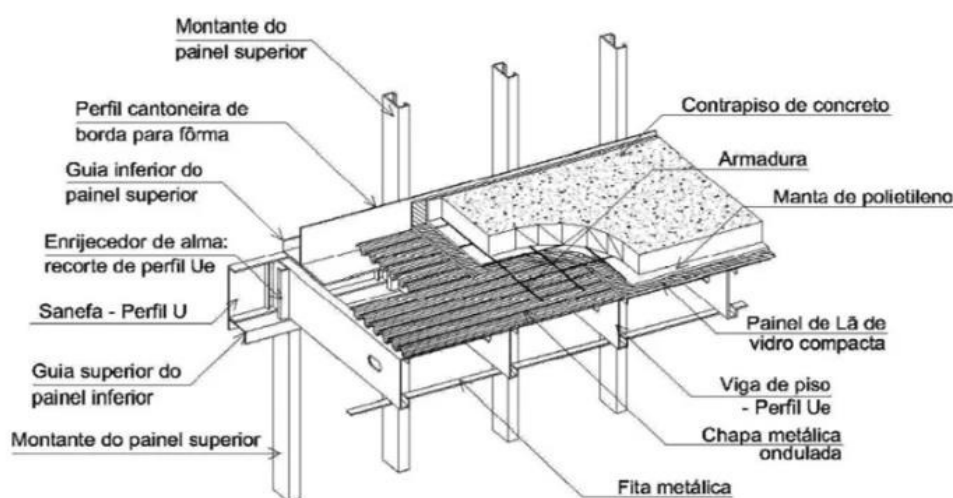
Em contrapartida, as *lajes úmidas* “são formadas por formas de aço (telhas galvanizadas) preenchidas com concreto e tela de reforço estrutural” (ABDI, 2015). Marinho (2020) explica que para a *laje úmida* se utiliza uma “capa” de concreto variando de 4 a 6 cm de espessura aplicada sobre a chapa metálica ondulada - a mesma usada em telhas de aço galvanizado, e essa última sendo fixada nas vigas de piso através de parafusos. A camada de concreto também servirá de contrapiso e camada de regularização para aplicação do revestimento final chamado piso. A depender do objetivo da laje, pode ser feita uma camada de regularização acima da camada de concreto. Entre a camada de concreto e a telha metálica usada como

forma, existe a aplicação de material isolante juntamente com a camada de proteção contra a umidade dessa própria camada, conforme explica Marinho:

Em atendimento à norma de desempenho no que se refere ao conforto acústico, utiliza-se material isolante composto por lã de vidro a ser protegido por um filme plástico de polietileno, conferindo a proteção necessária contra a umidade proveniente do concreto (Marinho, 2020, pág. 24)

A figura 17 mostra a estrutura geral para a laje do tipo úmida.

Figura 17 - Estrutura para laje do tipo úmida.



Fonte: Marinho, 2020.

A escolha do tipo de placa irá depender do ambiente a ser construído. Caso seja em uma região úmida, a melhor escolha pode ser de placa cimentícia, mas nada impede que essas placas sejam aplicadas em conjunto, com aplicação inicial de uma placa em OSB, e posterior aplicação da placa cimentícia. Segundo Marinho (2020), para atender ao desempenho acústico, é recomendada a aplicação de material poroso ou EPS entre as vigas de piso e as placas que funcionam como contrapiso.

2.2.2.6 Cobertura (Plana, inclinada com Tesouras e com Caibros)

Segundo Santiago *et al.* (2012), existem variados tipos de cobertura que podem ser utilizados no Sistema *Light Steel Frame*. Tem-se 1 - cobertura plana; 2 - cobertura inclinada estruturada com caibros; 3 - cobertura em telhas de aço e um telhado para cobertura em telhas cerâmicas ou outro material.

De acordo com Marinho (2020), na *cobertura plana*, a solução adotada muito se assemelha à laje úmida necessitando de uma leve inclinação no contrapiso para fazer o escoamento das águas pluviais. “Para vãos maiores e sem apoios intermediários, pode-se utilizar treliças planas confeccionadas por perfil “Ue” galvanizado.” (Marinho, 2020).

“As treliças planas também podem ser utilizadas para estrutura de pisos que demandem grandes cargas e vãos” (Santiago *et al.*, 2012).

Em resumo, para a cobertura plana pode-se usar tanto perfis quanto treliças, a depender das solicitações e dos vãos, contanto que se mantenha a inclinação necessária para escoamento das águas. Esta inclinação será obtida na capa de concreto ou, se for viável, em um nivelamento de contrapiso acima da camada de concreto para manter a inclinação. A figura 18 mostra a aplicação da treliça em *Light Steel Frame* em uma cobertura.

Figura 18 - Treliça plana de perfis conformados a frio aplicada em cobertura.



Fonte: Santiago *et al.*, 2012, pág. 65

Para a *cobertura inclinada*, a estrutura do telhado se assemelha a um telhado convencional, só que ao invés da estrutura de madeira convencional, utiliza-se a armação em perfis galvanizados contanto que se mantenha o princípio do alinhamento das almas dos perfis da estrutura da coberta com as almas dos montantes dos painéis. “A alma dos perfis que compõem tesouras ou caibros deve estar alinhada à alma dos

montantes dos painéis de apoio e suas seções em coincidência, de modo que a transmissão das cargas seja axial" (Santiago *et al.*, 2012). Quando não for possível o alinhamento, Santiago *et al.* (2012) explica que se deve prever uma viga composta com a finalidade de distribuir uniformemente a carga aos montantes, de forma similar ao que ocorre com a abertura de vãos em painéis estruturais explicados nos tópicos anteriores.

De acordo com Santiago *et al.* (2012), existe também a *estrutura inclinada estruturada com caibros*, que é similar à estrutura inclinada com perfis, porém se utiliza esse sistema quando o vão entre os apoios permite o uso de caibros e deseja-se utilizar menor quantidade de aço do que o empregado em tesouras. Isso porque não se utilizam tesouras nos perfis intermediários entre as tesouras que ficam nas extremidades da seção longitudinal, conforme pode-se ver na figura 19, ilustrada abaixo.

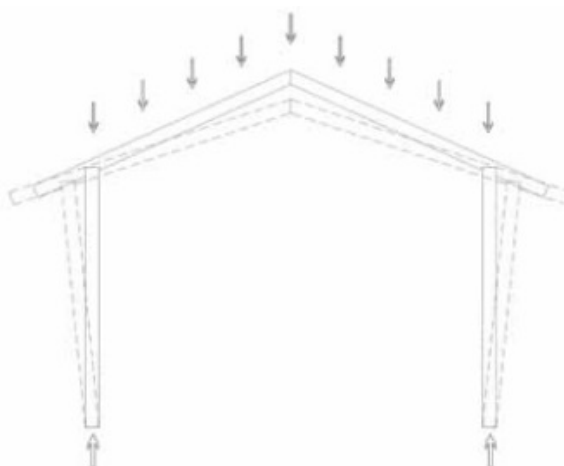
Figura 19 - Estrutura de cobertura inclinada com caibros.



Fonte: Santiago *et al.*, 2012, pág. 66

Conforme pode ser observado acima, o vão longitudinal fica livre de tesouras, exigindo projetos mais complexos. Isso porque pode ocorrer o efeito de abertura do painel devido ao peso do telhado, conforme ilustrado na figura 20.

Figura 20 - Deformação esperada da cobertura inclinada com caibros.

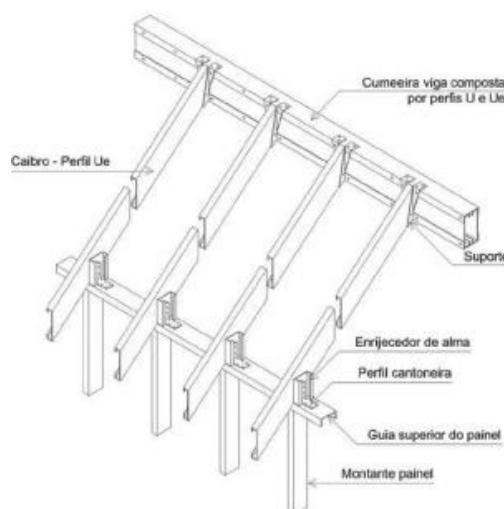


Fonte: Santiago *et al.*, 2012, pág. 67.

“A cumeeira pode ser um painel estrutural contínuo que funcione como apoio ao encontro dos caibros, ou, como é mais comum, uma viga composta por perfis U e Ue” e a fixação dos perfis do tipo “Ue”, que compõem os caibros, nos montantes dos painéis ocorre por meio de perfis de cantoneiras e enrijecedores de alma atuando em conjunto.

Já em relação à fixação na cumeeira, os caibros são fixados através de suportes chamados perfis de cantoneira, ilustrado melhor na figura 21, extraída do manual de Arquitetura do CBCA.

Figura 21 - Estrutura de telhado em *Light Steel Frame* com caibros.



Fonte: Santiago *et al.*, 2012, pág. 65

2.2.2.7 - Isolamento termoacústico e vedações

Com relação ao *isolamento*, de forma geral, tem-se que materiais de grande massa são isolantes mais eficientes. Porém, conforme Santiago *et al.* (2012) explica, é um conceito que não pode ser aplicado às construções com *Light Steel Frame*. Isso porque os princípios de isolamento termoacústico não são baseados na lei das massas, mas sim em conceitos mais atuais de isolação multicamada, no qual combinam placas leves de diversos materiais, só que afastados, formando um espaço entre eles, e esse espaço sempre preenchido por um material isolante. De forma geral, se utiliza lã mineral, porém pode ser utilizada lã de vidro ou outros materiais leves de isolamento. As figuras 22 e 23 mostram o preenchimento utilizado para o isolamento termoacústico em lã mineral.

Figura 22 - Isolamento termoacústico em lã mineral.



Fonte: Site Alcance Jr (Acesso em 2025)

Figura 23 - Isolamento termoacústico em lã de vidro.



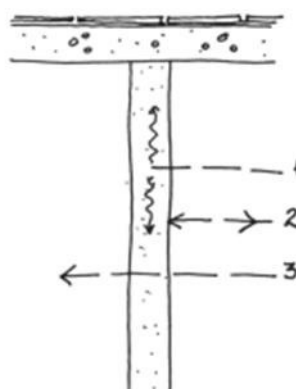
Fonte: Site HouseKeeping (Acesso em 2025)

“O isolamento em painéis LSF segue o princípio massa-mola-massa que é caracterizado pela separação das camadas de massa e utilização de elementos absorventes para o preenchimento dos espaços vazios entre elas.” (Marinho, 2020, pag. 22).

Segundo Santiago *et al.* (2012), o som é formado através de vibrações que é transmitida através de um meio elástico, como ar, água, sólidos. Geralmente é transmitido pelo ar, mas pode ser transmitido também através de um meio sólido. Quando isso acontece, o som aéreo é transmitido pelo ar, quando esse som se choca com meios rígidos, provoca oscilações nesses materiais e posteriormente, essas oscilações são novamente transmitidas ao ar do ambiente interno. Com isso, vão se gerar três tipos de transmissão de sons nos edifícios: 1 - Transmissão de som aéreo; 2 - Transmissão de som de impacto; e 3 - Transmissão de som proveniente da estrutura. Na primeira situação a transmissão do som acontece por meio das aberturas e vedações das edificações; na segunda, ocorre geralmente através dos pisos, quando se escuta o impacto de objetos, movimentação de pessoas, batidas de porta, quebra de objetos e outras coisas; e a terceira está relacionada aos ruídos de vibrações de equipamentos ou instalações hidráulicas. O objetivo do isolamento acústico é reduzir a transmissão do som de um ambiente para outro.

Conforme Sales (2001), a energia sonora que chega a um ambiente e se choca com uma porta ou divisória, é transmitida através do ar por meio da incidência de uma fonte sonora. Essa energia sonora, ao atingir uma divisória, parte será refletida e parte da energia será absorvida, a depender do coeficiente de absorção da parede ou divisória. Essa vibração que a parede absorver irá funcionar como um auto- falante, fazendo com que a parede transmita, ao ambiente, parte dessa vibração. De toda a energia sonora que chega à parede, parte dela se dissipa em energia térmica no seu interior, outra parte é refletida no meio da fonte, e a terceira parte chega ao ambiente interno protegido pela divisória. Na figura 24, tem-se o esquema das transmissões e dissipações da energia sonora no encontro com um material.

Figura 24 - Transmissão e dissipação da energia sonora.



Fonte: Sales (2001)

O isolamento acústico de uma parede ou divisória geralmente é expresso através do parâmetro de perda de transmissão, ou seja, "quanto maiores os valores da perda de transmissão, mais baixa será a transmissão da energia acústica e vice-versa" (Sales, 2001). Outra forma de quantificar a redução sonora de uma parede se deve à diferença de nível de pressão acústica, onde será expressa a diferença entre o nível de pressão sonora antes da colocação do elemento que irá isolar acusticamente o ambiente e após a sua colocação. Essa diferença de pressão é muito usada nos parâmetros de isolamento acústico nas normas de desempenho.

No *Light Steel Frame*, existem peculiaridades em relação aos dois subsistemas de vedação, divididos em: 1- vedação interna; 2 - vedação externa. Dackson *et al.* (2023) comentam que os tipos mais usuais de vedações no mercado são compostos por DryWall, utilizado como subsistema na *vedação interna*.

Entretanto, para *vedações externas*, os tipos mais usuais de vedações são em placas cimentícias, que são compostas por Cimento Portland, misturado com fibras sintéticas ou de celulose. Como cada fornecedor terá uma composição específica, isso terá influência nas características de absorção de água. Para a água no estado líquido, a placa é basicamente impermeável, mas permite a passagem de água no estado de vapor, por isso geralmente é usada em conjunto com manta hidrófuga para preservar a vida útil dos componentes de isolamento térmico e acústico.

Um elemento de vedação externa utilizado em combinação com outros componentes é a placa OBS (*Oriented Strand Board*), que é composta por pequenas lascas de madeira. O OSB recebe tratamentos para impermeabilização e proteção contra

cupins. Sendo no Brasil, comercializado nas espessuras de 9mm, 11,1mm e 18,3mm. Segundo Coelho (2014), a placa OSB é utilizada para contraventar a estrutura, sendo mais usual a sua aplicação externa. A placa OSB geralmente é usada combinada com placas cimentícias, siding vinílico, EPS de alta densidade para o fechamento da face externa, mas também podendo ser usada na face interna combinada com placa cimentícia ou isolada, como alternativa para o uso de gesso acartonado na parte interna.

Mas, além das placas cimentícias combinadas ou não com placas OSB, diversos materiais são utilizados como fechamento externo, e combinados com revestimento garantindo proteção, isolamento e acabamento estético. Alguns dos fechamentos externos e revestimentos usuais no *Light Steel Frame* são: 1 - Glasroc X; 2 - SmartSide; 3 - Siding Vinílico; 4 - Sistema EIFS. O quadro 1 traz um resumo da origem da nomenclatura e principal função.

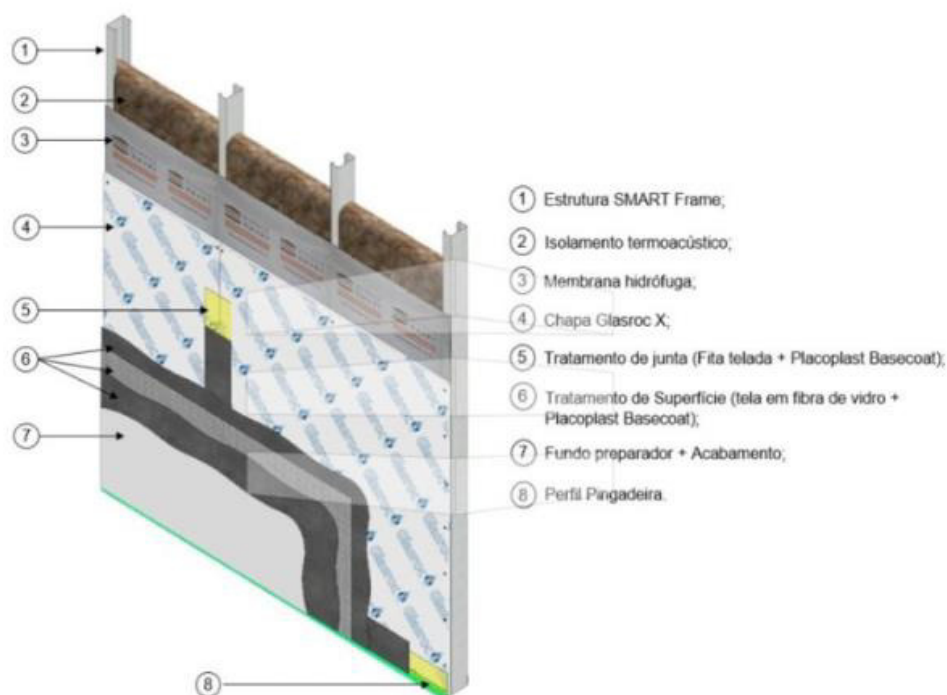
Quadros 1 - Vedações e acabamentos externos mais comuns no *Light Steel Frame*

Nome Comercial / Sistema	Tipo	Fabricante/Marca	Aplicação Principal
GlasRoc X	Marca	CertainTeed	Vedação externa resistente à umidade
SmartSide	Marca	LP Building Solutions	Revestimento em madeira engenheirada
Siding Vinílico	Genérico	Várias (ex: Plastilit)	Revestimento leve em PVC para fachadas
Sistema EIFS	Sistema	Ex: Sto, Dryvit, Weber Quartzolit	Isolamento térmico + acabamento externo

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

O *Glasroc X* (marca da Certain Tedd) é composto de placa à base de gesso reforçada com véu de vidro polimérico, proporcionando maior resistência à umidade e aos raios UV. Esse reforço permite sua utilização em ambiente externo e segundo a placa, fabricante do Grupo Saint -Globan, evita a formação de mofo nas condições mais críticas. Conforme mostra a figura 25, no item 4, o esquema com fechamento usando placa de gesso, para uso externo, Glasroc-X.

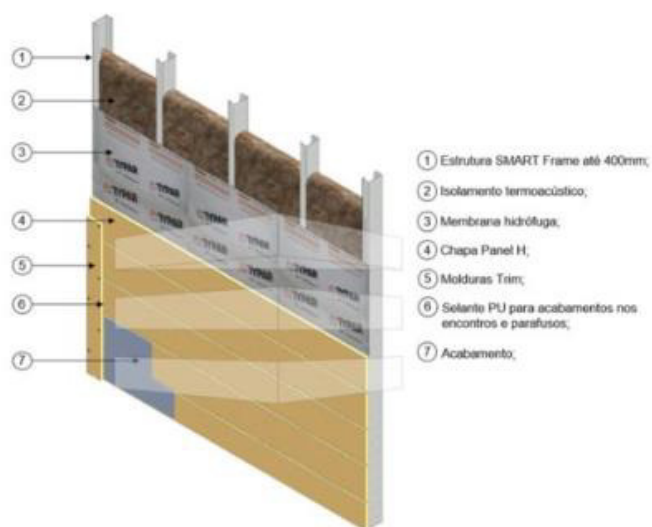
Figura 25 - Esquema com fechamento utilizando placa GlasRoc - X



Fonte: Conteúdo Espaço Smart (Site).

O *SmartSide*, revestimento de madeira fornecido pela *LP Building Solutions*, é um tipo de revestimento que imita a aparência da madeira natural, fabricado com tecnologia de placas OSB prensadas com resinas resistentes às intempéries. Disponível em formatos como Panel H (painéis com ranhuras horizontais) e LAP (réguas), oferece durabilidade, proteção contra cupins e fungos, além de facilidade de instalação. Nesse caso, a placa OSB pode ser utilizada como acabamento final, mas também pode ser combinada com a placa cimentícia para atender normas de desempenho acústico. A figura 26 ilustra o fechamento externo com painéis de madeira.

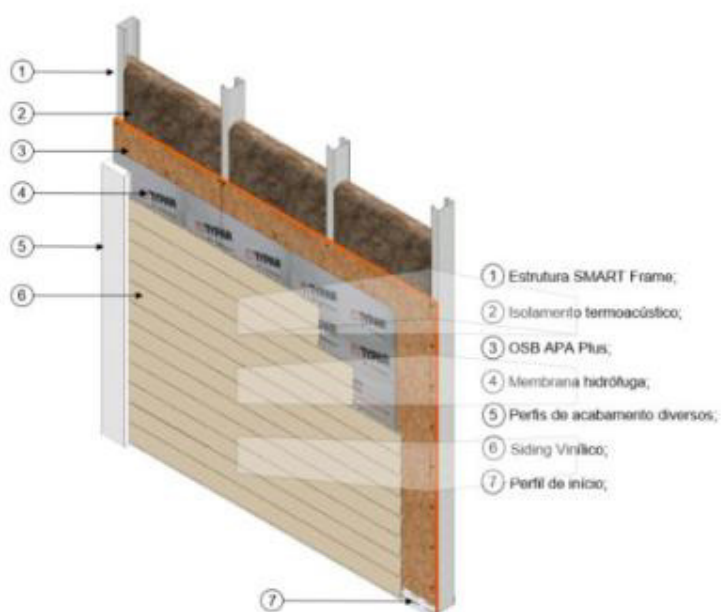
Figura 26 - Esquema de fechamento externo com painéis de madeira.



Fonte: Conteúdo Espaço Smart (Site).

Siding Vinílico, fabricado por várias empresas, é um revestimento fabricado em PVC de alta densidade. Este revestimento em régua é leve, resistente e confere um aspecto estético semelhante ao das casas americanas. Destaca-se pela instalação rápida, resistência às intempéries e baixa manutenção.

Figura 27 - Esquema de fechamento externo com Siding Vinílico.

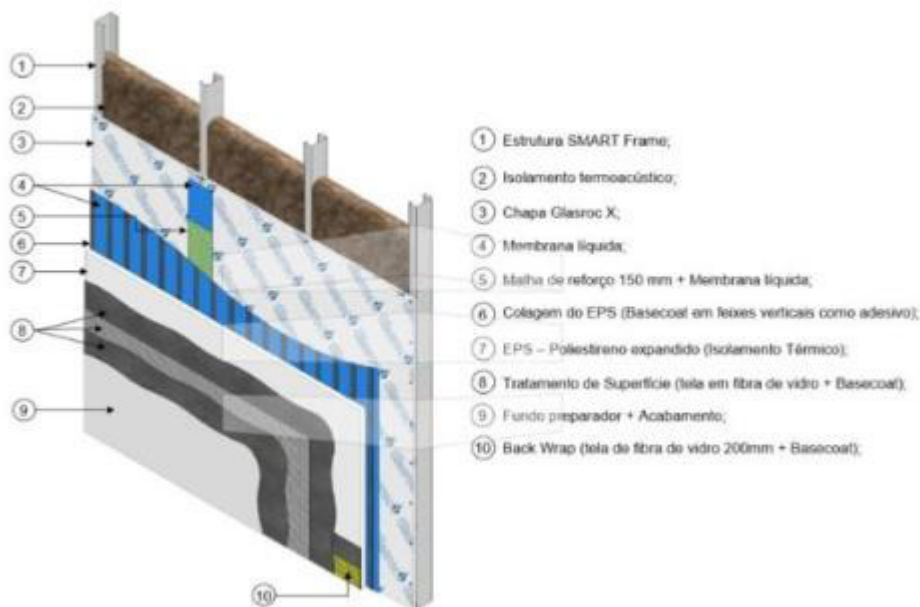


Fonte: Conteúdo Espaço Smart (Site).

O *Sistema EIFS* (Exterior Insulation and Finish System), que embora não seja uma marca, é amplamente utilizado em edificações com estrutura leve. Consiste em um

sistema de isolamento térmico e acabamento externo que utiliza várias camadas de materiais leves. A figura 28 ilustra as várias camadas usadas para compor o Sistema EIFS.

Figura 28 – Sistema EIFS usado em *Light Steel Frame*



Fonte: Conteúdo Espaço Smart (Site).

2.3 Norma de Desempenho NBR 15575

2.3.1 Métodos e Parâmetros de Avaliação Acústica

2.3.1.1 Sistemas de vedações verticais e pisos

A NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) trata dos requisitos de desempenho exclusivamente de vedações verticais, tanto internas quanto externas (SVVIE), incluindo os requisitos acústicos. No que se refere aos requisitos de desempenho acústico, a norma disponibiliza dois métodos de medição: 1 - o método da engenharia; 2 - o método simplificado; ambos realizados em campo.

O *método da engenharia* visa medir, de forma rigorosa, a diferença de nível padronizada ponderada a 2 metros de distância da fachada (no caso de fachadas) ou do ambiente receptor (no caso de paredes internas):

O isolamento a ruído aéreo de SVVE (fachadas) determina, em campo, de forma rigorosa, a diferença de nível padronizada ponderada a 2 m de distância da fachada (global) da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados); nos edifícios multipisos, somente a fachada, caracterizando, de forma direta, o comportamento

acústico do sistema. O método é descrito nas normas ISO 16283-3 (ISO, 2016) e ISO 717-1 (ISO, 2013), NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

O isolamento a ruído aéreo de SVVI (paredes internas) determina, em campo, de forma rigorosa, a diferença de nível padronizada ponderada entre as unidades autônomas e entre uma unidade e as áreas comuns, caracterizando, de forma direta, o comportamento acústico do sistema. O método é descrito nas ISO 16283-1 (ISO, 2016) e ISO 717-1 (ISO, 2013). NBR 15575-4 (ABNT, 2021)

A norma enfatiza que a diferença de nível padronizada é crucial para caracterizar o comportamento acústico do sistema de vedações, sendo um parâmetro fundamental para a avaliação do desempenho acústico.

O *método simplificado* também visa medir a diferença de nível padronizada ponderada a 2 metros de distância da fachada ou em relação aos ambientes internos, de maneira similar ao método da engenharia. No entanto, este método é utilizado quando não se dispõe da instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter o parâmetro do tempo de reverberação. O método simplificado está descrito nas NBR 10052 (ABNT, 2004) e ISO 717-1 (ISO, 2013). No caso de edifícios multipisos, o critério avalia apenas a fachada. Para sobrados e casas térreas, o critério avalia o conjunto composto pela fachada e cobertura.

De forma similar aos sistemas de vedações verticais, a norma 15.575 -3 (ABNT, 2021) em que se classificam os parâmetros de desempenho do sistema de pisos, se além a definir os métodos de avaliação, bem como os parâmetros para o desempenho acústico desses sistemas.

A NBR 15575-3 (ABNT, 2021) define o sistema de pisos como sendo o conjunto parcial ou total de camadas que compõe o piso, ou seja, a camada estrutural, a impermeabilização, o isolamento térmico ou acústico, a camada de contrapiso, a camada de fixação do revestimento e, por fim, a camada de revestimento ou acabamento final e traz o isolamento acústico do sistema de piso como sendo “um conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com a finalidade de atenuar a passagem de ruídos”

A norma também traz dois métodos e dois parâmetros de avaliação. Os métodos são o método da engenharia e o método simplificado, e cada um deles avalia dois parâmetros no sistema de pisos, sendo eles: 1-isolamento a ruídos de impactos, medido através do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, e 2-

isolamento a ruído aéreo, já comentado no tópico de vedações verticais, que é medido através da diferença de nível padronizada ponderada. Para o método da engenharia, que é realizado em campo, tem-se:

O isolamento a ruídos de impactos de sistemas de pisos determina, em campo, de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado em sistemas de pisos entre as unidades autônomas, caracterizando, de forma direta, o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na ISO 16283-2 (ISO, 2016) e ISO 717-2. (ISO, 2013). NBR 15575 (ABNT, 2021)

O isolamento a ruído aéreo de sistemas de pisos determina, em campo, de forma rigorosa, a diferença de nível padronizada ponderada entre as unidades autônomas e entre uma unidade e as áreas comuns, caracterizando, de forma direta, o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na ISO 16283-1 (ISO, 2016) e ISO 717-1 (ISO, 2013). NBR 15575-3 (ABNT, 2021).

Para o método simplificado, também realizado em campo, tem-se:

Este método permite obter a diferença de nível padronizada ponderada e o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado em sistemas de pisos, em situações em que não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro. O método simplificado é descrito na NBR ISO 10052 (ABNT, 2004), ISO 717-1 (ISO, 2013) e ISO 717-2 (ISO, 2013) NBR 15575-3 (ABNT, 2021).

Como se pode observar, para cada método existem ISO's e NBR's que descrevem os respectivos métodos, bem como se pode observar que a principal diferença do método simplificado é justamente a não medição do tempo de reverberação, que é um parâmetro medido no método da engenharia.

2.3.1.2 Parâmetros e Critérios de Classificação Acústica

O parâmetro *Diferença de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$)* quantifica o nível de isolamento acústico das edificações. Segundo Pierrard e Akkerman (2014), a transmissão de ruído aéreo entre unidades habitacionais ocorre através do sistema de piso e das paredes laterais, e a eficiência do isolamento vai depender do sistema construtivo adotado.

A norma define que o $D_{nT,w}$ é um parâmetro fundamental para a avaliação do desempenho acústico das edificações, refletindo as condições reais de isolamento no ambiente. O Dicionário Básico de Acústica da Universidade TRISUL (2023) define a diferença de nível padronizada como a diferença entre o ruído gerado em um ambiente e o ruído que chega ao ambiente receptor. Quanto maior essa diferença, maior o isolamento acústico entre os ambientes.

Também existem outros parâmetros relacionados ao desempenho acústico, são eles:

- 1 - *Melhoria do índice de redução sonora ponderado (ΔR_w)* que indica o quanto um material melhora o isolamento acústico de um sistema construtivo, como no caso de contraparedes instaladas em divisórias de alvenaria.
- 2- *Índice de redução sonora ponderado aparente (R'_w)* que se refere ao índice de redução sonora medido em laboratório sem considerar o isolamento dos demais elementos.
- 3- *Nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L_{n,w}$)* que mede o isolamento acústico de um elemento contra ruídos de impacto, como passos ou arrasto de móveis.
- 4- *Melhoria do nível de pressão sonora de impacto ponderado. ($\Delta L_{n,w}$)* que mede a melhoria do isolamento ao ruído de impacto de um sistema construtivo em relação ao sistema original.
- 5- *Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$)* que é utilizado para avaliar o ruído de impacto em sistemas de piso, sendo o parâmetro exigido pela NBR 15575 (ABNT,2021);
- 6- *Nível de pressão sonora incidente na fachada do ambiente (L_{inc})* que representa o nível de pressão sonora incidente na fachada do ambiente, simulado ou calculado a partir do L_d (nível de pressão sonora representativo do período diurno) ou L_n (nível de pressão sonora representativo do período noturno), conforme a NBR 10151(ABNT, 2019).

2.3.2 Classificação e Aplicação dos Critérios Acústicos

Segundo Braga *et al.* (2015), as paredes que separam dois ambientes têm a função de mitigar a propagação da energia sonora. A norma de desempenho utiliza o parâmetro diferença de nível padronizada ($D_{nT,w}$) para medir a eficiência de isolamento entre as vedações. A intensidade sonora entre os ambientes será reduzida conforme as características dos materiais usados e a solução construtiva adotada.

2.3.2.1 Vedações externas

A NBR 15575-4 apresenta os critérios para a classificação do desempenho acústico mínimo das vedações externas. O parâmetro utilizado é a diferença padronizada de nível ponderada. A norma separa os critérios a depender da natureza do ambiente que esteja voltado para a fachada analisada. Basicamente, há uma separação de níveis de critérios entre os ambientes do dormitório e das salas.

Para os dormitórios, existe uma classificação detalhada a depender da classe de ruído a que a edificação estiver exposta. Para cada classe (1, 2 ou 3), existe um nível de desempenho da fachada classificado em mínimo, intermediário ou superior.

Um exemplo de critério e nível de desempenho mínimo para isolamento ao ruído aéreo de vedações externas em dormitórios pode ser visto no quadro 2.

Quadros 2 - Critério de desempenho mínimo, de isolamento a ruído aéreo de vedações externas – dormitórios.

Classe de ruído	Linc dB	D2m,nT,w dB (dormitório)
I	≤ 60	≥20
II	61 a 65	≥25
III	66 a 70	≥30

Fonte: Adaptado pelo autor da NBR 15575-4:2021.

Como se pode observar, esse critério é mais genérico e estabelece o mínimo de desempenho que está relacionado ao critério avaliado para que o dormitório esteja dentro dos parâmetros da norma. Porém, em outro quadro, mostra-se a diferença entre o nível de desempenho acústico entre as classes.

Por exemplo, o mínimo aceitável para um sistema de vedação interna é que a diferença padronizada de nível ponderada seja maior ou igual a 20dB se ele for da classe de ruído I, mas o quadro 3, adaptado da NBR 15575-4, mostra que para a mesma classe de ruído, caso o sistema de vedação interna atinja valores iguais ou superiores a 30dB, ele está em um nível superior de isolamento acústico para a sua classe de ruído, valorizando ainda mais o sistema de vedação. O quadro 3 mostra os níveis de desempenho para as fachadas que estão vedando ambientes que contêm dormitórios.

Quadros 3– Critérios e níveis de desempenho para isolamento acústico a ruído aéreo de vedações externas - dormitórios.

Classe de ruído	Linc dB	D2m,nT,w (dB) Dormitórios	Níveis de desempenho
I	≤ 60	≥20	M
		≥25	I
		≥30	S
II	61 a 65	≥25	M
		≥30	I
		≥35	S
III	66 a 70	≥30	M
		≥35	I
		≥40	S

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (2021).

Na atualização da norma, a sala só tem nível de desempenho quando exposta ao nível de ruído de classe 3 apenas para os níveis de desempenho intermediário e superior. Ou seja, quando a sala está exposta a uma classe de ruído 3, aquela fachada em estudo deve ter uma diferença padronizada de nível ponderada mínima de 30 dB para ser classificada com o nível de isolamento acústico intermediário. O quadro 4 traz o detalhamento dos níveis de desempenho para fachadas que vedem ambientes que contenham salas.

Quadros 4 - Critério e níveis de desempenho de isolamento a ruído aéreo de vedações externas – Salas

Classe de ruído	Linc (dB)	D2m,nT,w (dB)	Níveis de desempenho
I	≤ 60	Não aplicável	
II	61 a 65	Não aplicável	
III	66 a 70	Não aplicável	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (2021).

2.3.2.2 Vedações internas

Para as vedações internas, o parâmetro de desempenho a ser avaliado em campo passa a ser a diferença padronizada de nível ponderada, em que a norma estabelece critérios com base nos ambientes a serem analisados. A depender do uso do ambiente e se a parede faz divisa com um dormitório, haverá classificações mínimas, intermediárias e superiores a depender da natureza do ambiente.

A norma também faz uma correlação com a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno, enfatizando que em torno de 35 a 40 dB de isolamento existe um nível de entendimento sobre a fala, fazendo assim com que o isolamento seja pequeno. A partir de 40 dB existe um nível audível, porém não inteligível, e a partir de 50 dB é considerado não audível.

Ou seja, essa correlação vai ser usada para classificar as paredes dos ambientes em níveis de isolamento: mínimo, intermediário ou superior e ainda, para definir o mínimo aceitável conforme a natureza do ambiente.

2.3.2.3 Sistemas de piso

A norma de desempenho das edificações, a NBR 15.575-3 (ABNT, 2021), no que diz respeito ao desempenho acústico dos sistemas de pisos, traz dois parâmetros de avaliação do desempenho acústico em sistemas de pisos. São eles: a diferença padronizada de nível ponderada e o isolamento a ruídos de impacto. Para cada um deles, a norma apresenta em seus anexos um desempenho mínimo que deve ser obtido para estar dentro dos parâmetros de desempenho exigidos.

Vale ressaltar também que a ABNT NBR 15.575-3 (ABNT, 2021) enfatiza que o desempenho das edificações, quando medido em campo, através dos parâmetros de diferença padronizada de nível ponderada e do isolamento a ruído de impacto, depende de outros fatores além do isolamento acústico do elemento, que teve seus parâmetros medidos em laboratório. Isso porque, devido às dimensões dos elementos construtivos, os tipos de uniões entre eles e também o isolamento acústico dos elementos de contorno (flancos), e ainda a geometria e o volume do ambiente, vão influenciar no resultado do desempenho acústico obtido em campo através desses dois parâmetros de avaliação de desempenho de sistema de pisos.

A norma de desempenho acústico traz os dois critérios para avaliar o desempenho acústico de sistemas de pisos. O primeiro critério diz respeito aos ruídos de impacto, e, de forma genérica, classifica o valor máximo que se deve ter de impacto de ruído para que o sistema de piso atenda aos requisitos mínimos de conforto acústico que a norma exige. O quadro 5 mostra valores de desempenho mínimo relacionados aos sistemas de pisos, no critério para isolamento a ruídos de impacto.

Quadros 5 - Critério de desempenho mínimo para ruído de impactos em sistemas de pisos.

Elemento de separação	L' nT,w (dB)
Sistema de piso de unidades habitacionais autônomas sobre dormitório	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas, lavanderias coletivas e corredores) sobre dormitório de unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Adaptado da NBR 15575-3:2021.

A NBR 15.575-3 (ABNT, 2021) também classifica o nível de desempenho acústico a partir do isolamento a ruídos de impacto obtido, em mínimo, intermediário ou superior. Além disso, a essa classificação é baseada no uso do ambiente. Por exemplo, se o sistema está sobre sala ou sobre dormitórios, os valores máximos de isolamento a

ruídos de impacto irão mudar. Essa classificação está disponível na NBR 15.575-3 (ABNT, 2021) na parte de desempenho acústico, na seção de pisos. O quadro 6 exibe os níveis de desempenho a depender do ambiente em que o piso está isolando, relacionado ao critério de isolamento a ruídos de impacto.

Quadros 6- Critérios e níveis de desempenho para ruído de impacto em sistemas de pisos para salas e dormitórios.

Elemento de separação	$L'_{nT,w}$ (dB)	Níveis de desempenho
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas sobre dormitório	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas sobre sala	Não se aplica	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistemas de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas, lavanderias coletivas e corredores) sobre dormitório de unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S
Sistemas de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas, lavanderias coletivas e corredores) sobre sala de unidades habitacionais autônomas	Não se aplica	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Adaptado da NBR 15.575-3:2021.

Por fim, também se terá os níveis de desempenho em sistemas de piso com relação a outro critério, que se relaciona com o isolamento acústico para ruídos aéreos, que é mensurado através da diferença padronizada de nível ponderada. A NBR 15.575:2021 separa os níveis de desempenho em mínimo, intermediário e superior e também traz valores diferentes para classificação a depender do ambiente e sua função. O quadro 7 mostra os níveis de isolamento em função do ambiente isolado, em relação ao critério de isolamento a ruído aéreo.

Quadros 7 - Critérios e níveis de desempenho para ruído aéreo em sistemas de pisos.

Elemento de separação	$D_{nT,w}$ (dB)	Níveis de desempenho
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria situados em pavimentos distintos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas, nas situações em que não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistemas de piso separando dormitório de unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Adaptado da NBR 15.575-3:2021.

2.3.3 Desempenho Acústico na Implementação da NBR 15575: Desafios e Necessidades dos Usuários

Morais, Lordsleem Jr. e Andery (2021) analisam a implementação da norma de desempenho, que na época vigorava a NBR 15575 (ABNT, 2013), em construtoras e incorporadoras de Recife/PE, com ênfase nos desafios e soluções para atender às exigências normativas. Dentre os aspectos abordados, o desempenho acústico se destaca como uma das principais preocupações dos usuários, evidenciando a necessidade de ambientes mais confortáveis e protegidos contra ruídos externos.

O estudo aponta que a adequação à norma exige ações como a realização da análise acústica do entorno da obra, a contratação de especialistas para projetos acústicos e a adoção de materiais com desempenho comprovado. Além disso, as empresas pesquisadas relataram dificuldades devido à falta de profissionais qualificados e ao aumento dos custos com ensaios acústicos e soluções construtivas mais eficientes. Para mitigar esses desafios, as empresas implementaram medidas como a exigência contratual do cumprimento da NBR 15575 (ABNT, 2013), a revisão dos memoriais descritivos com especificações de desempenho acústico e a realização de treinamentos para sensibilização das equipes de execução. A pesquisa destaca ainda a importância da normatização como fator determinante na valorização da qualidade construtiva e no atendimento às expectativas dos usuários em relação ao conforto acústico das edificações.

A implementação dessas medidas reforça a necessidade de uma abordagem estruturada para garantir a conformidade com a norma e melhorar a qualidade acústica dos ambientes habitacionais, reduzindo impactos negativos no bem-estar dos moradores (Morais, Lordsleem Jr. & Andery, 2021).

3.0 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi desenvolvida a partir de uma pesquisa bibliográfica mais objetiva e reduzida devido a ter poucos artigos relacionados com o objeto do tema estudado.

Com relação às fontes principais foram utilizadas três fontes iniciais para a busca:

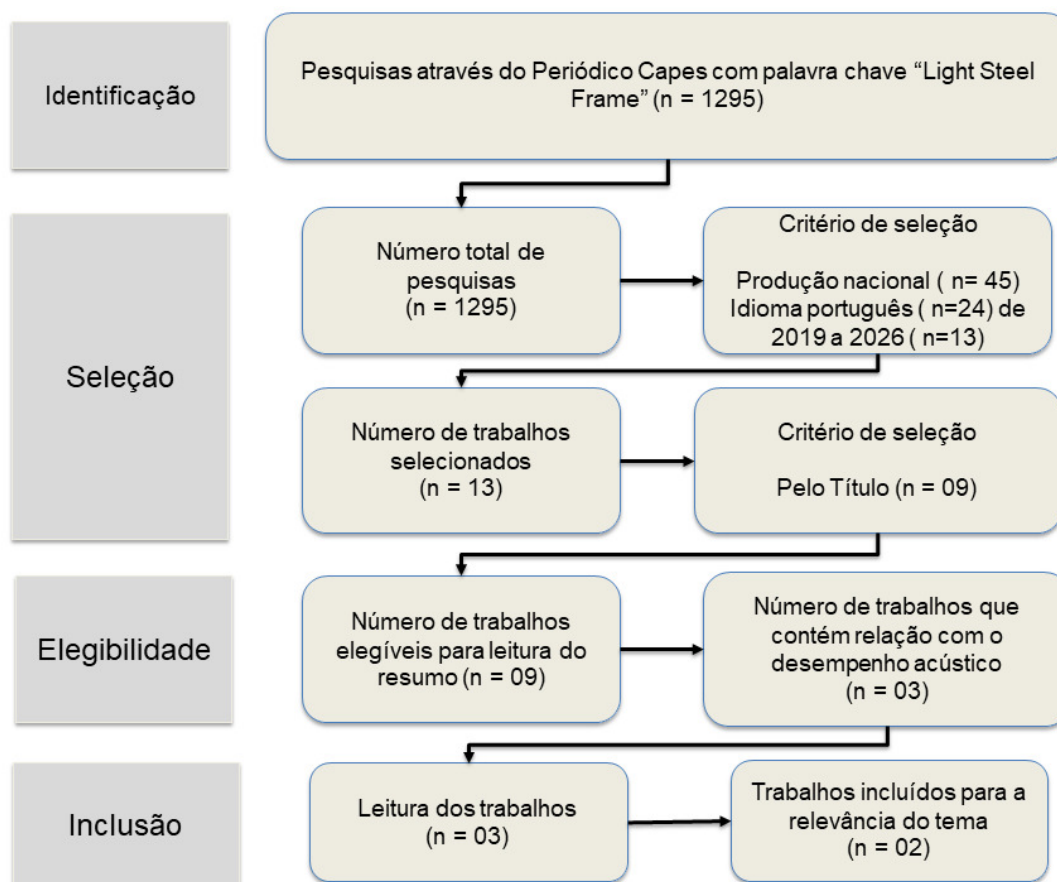
- 1 - PARQ: Pesquisa em Arquitetura e Construção, revista eletrônica da Universidade de Campinas, vinculada ao departamento de Arquitetura e Construção da UNICAMP.
- 2 - SOBRAC: Revista da Sociedade Brasileira de Acústica.
- 3 - Ambiente Construído: Revista online da ANTAC - Periódico científico da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

A justificativa da escolha é por serem revistas de credibilidade seguindo recomendações de profissionais conhecidos que atuam na área de desempenho. Não havendo referências satisfatórias nesses sites, a preferência seguiu para o portal periódico CAPES e em seguida o Google acadêmico. As revistas foram utilizadas principalmente para compor o referencial teórico da pesquisa, enquanto que o Google acadêmico e o portal de Periódico CAPES se mostrou mais relevante para obtenção dos resultados.

Foram identificados inicialmente 1295 trabalhos no Portal de Periódicos CAPES, a partir da utilização de palavras-chave no campo “busca por assunto”, com a inclusão da palavra chave “*Light Steel Frame*”. Após a aplicação do filtro “produção nacional” restaram apenas 45 pesquisas. Foi incluído mais um filtro de “idioma” e selecionado a opção “português”, restando assim, apenas 24 artigos. Por último, foi aplicado mais um filtro de seleção de data com o objetivo de selecionar as pesquisas mais recentes. O filtro inclui os trabalhos feitos entre 2019 e 2025, restando apenas 13 pesquisas.

Dentre as pesquisas selecionadas apenas 09 foram elegíveis para leitura considerando o título do trabalho e a relação com o tema. Dentre os 09 trabalhos lidos apenas 03 possuíam relação direta com o tema em questão e somente 02 trabalhos foram incluídos por conterem resultados relevantes para a pesquisa. A figura 29 traz o fluxograma de pesquisa desenvolvido a partir do Portal de Periódicos CAPES.

Figura 29 - Fluxograma de pesquisa no Portal de Periódicos CAPES



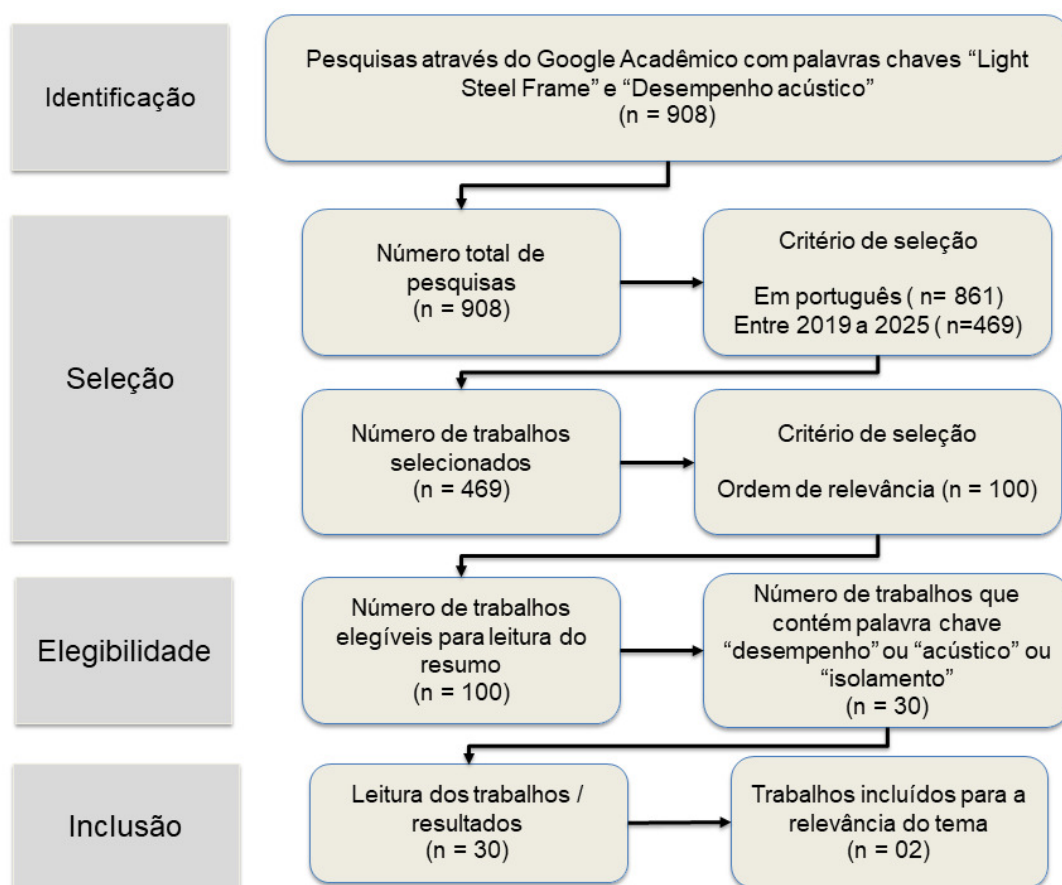
Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi utilizado o Google acadêmico para pesquisas de dissertações, Trabalhos de Conclusão de Curso ou outros artigos que poderiam não estar disponíveis no Portal Periódico do Capes.

Foram identificados inicialmente 908 resultados de pesquisa no Google acadêmico, a partir da utilização de palavras-chave no campo de pesquisa, com a inclusão das palavra-chave "*Light Steel Frame*" e "desempenho acústico". Após a aplicação do filtro de idioma selecionando a opção "português" restaram 861 resultados de pesquisas. Foi aplicado mais um filtro de seleção de data contendo os trabalhos feitos entre 2019 e 2025, restando 469 resultados de pesquisas. Como tinham muitas pesquisas, foi selecionado o filtro "por ordem de relevância" e foram selecionadas as 100 primeiras pesquisas para leitura dos resumos. Foi dada a prioridade para resumos que tinham as palavras chaves "desempenho acústico" ou "isolamento acústico", "ruído" ou

qualquer palavra chave que remetesse a índices acústicos ou testes que relacionavam com a norma de desempenho. Com isso, restaram 30 artigos. Dentre os artigos e pesquisas que foram lidos apenas 02 foram avaliados pelo autor para serem incluídos de forma relevante na temática da pesquisa. A figura 30 mostra o fluxograma de pesquisa obtido no Google acadêmico.

Figura 30 - Fluxograma de pesquisa no Google acadêmico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Somando as pesquisas selecionadas pelo portal de periódicos CAPES e pelo Google acadêmico foram totalizadas 04 pesquisas relevantes para o trabalho em questão. A partir dos resultados dessas pesquisas foram desenvolvidos quadros resumo com o objetivo de mostrar o que cada pesquisa trouxe de forma mais relevante para contribuir com os resultados finais. No Quadro 8 são ilustradas as principais metodologias de pesquisas e os principais resultados obtidos.

Quadros 8 - Resumo da metodologia e principais resultados obtidos.

Pesquisa - Ordem de prioridade	Objetivo	Principais Resultados encontrados
Revistas de Referência - Acústica	1- PARQ : Revista eletrônica vinculada ao departamento de arquitetura e construção da UNICAMP 2- SOBRAC: Sociedade Brasileira de Acústica 3 - Ambiente Construído: Periódico vinculado à ANTAC/ UFRGS	Referencial Teórico
Periódico CAPES	Filtro por palavras chaves: Light Steel Frame; desempenho acústico; (Artigos/Trabalhos acadêmicos)	Resultados - Desempenho em SVVI/SVVE/Pisos
Google Acadêmico	Pesquisa por palavras chaves: Light Steel Frame; desempenho acústico; (Artigos/Trabalhos acadêmicos)	Resultados - Desempenho em SVVI/SVVE/Pisos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.0 RESULTADOS

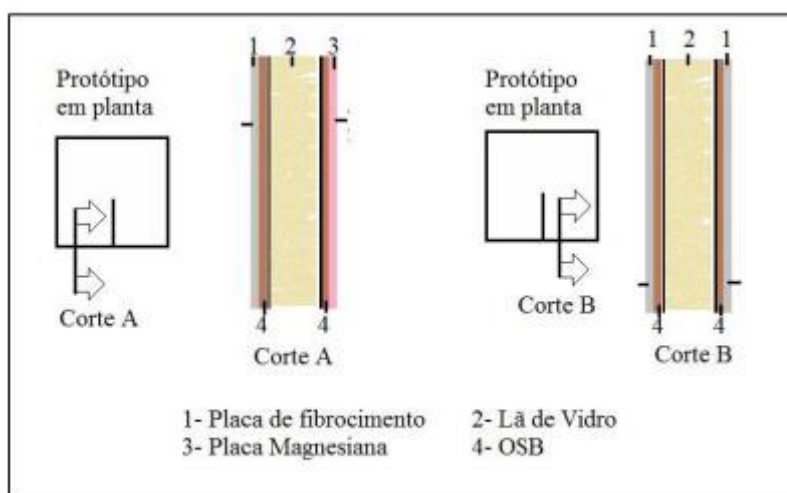
4.1 Desempenho acústico em fachadas - comparação entre placas feitas com cimento e placas com óxido de magnésio

O trabalho de Zenerato et al (2019) mostrou a diferença entre os usos de placas planas à base de cimento e à base de magnésio com relação ao desempenho acústico em fachadas de *Light Steel Frame*, analisando o seguinte fator: Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{2m,nTw}$). Esse fator, quando aplicados os devidos fatores de conversão, é transformado em um único valor de unidade decibel (dB), que é usado para definir a classificação de acordo com a norma de desempenho - parte acústica - que classifica as edificações com desempenho mínimo (M), intermediário (I) ou superior (S). Essa classificação também depende do local onde a edificação está localizada.

O trabalho foi feito através da construção de um protótipo medindo 2,5m x 2,5m em planta baixa e altura de 3 m, em *Light Steel Frame*, em que as paredes foram construídas através de perfis conformados a frio e o ambiente foi dividido em dois para haver diferentes tipos de fechamento entre os ambientes: um deles sendo fechado com placas à base de cimento Portland, e o outro com fechamento através de placas à base de óxido de magnésio.

Ambas as fachadas tiveram fechamentos muito similares no que diz respeito à estrutura de fechamento, tendo como diferença apenas o fechamento da placa externa. A placa interna de fechamento foi de placa de fibrocimento para ambos os ambientes, e o isolamento térmico foi composto por lã de vidro para ambos os ambientes, bem como os tipos de perfis para sustentação da parede e dos elementos da fachada foram iguais. A única diferença foi a placa de fechamento externo, conforme mostrado na figura 31.

Figura 31 - Corte esquemático da parede com placa de fibrocimento e placa magnesia.



cortes em escala - (a) Pannel com placa magnesia - (b) Pannel com placa de fibrocimento.

Fonte: Zenerato et al., 2019.

O corte A mostra o ambiente em que a placa que compõe a fachada é composta pela placa magnesia e o corte B mostra o ambiente em que a placa que compõe o fechamento externo é composta pela placa de fibrocimento.

A cobertura do protótipo foi feita com perfis conformados a frio, em duas águas, e as telhas utilizadas foram de fibrocimento sem amianto com espessura de 5mm. O forro colocado sobre os ambientes internos foi composto de placas de gesso acartonado com espessura de 12,5 mm.

As pesquisadoras fizeram a análise medindo o nível de pressão sonora a 2 metros da fachada, conforme estabelece a ISO 140-5 (ISO, 1998) sendo essa medição a variável L1 da equação de Diferença Padronizada de Nível Ponderada. Também foi executada a medição de acordo com o aparelho apropriado no ambiente interno, sendo essa medição a variável L2. Por fim, mede-se o tempo T, que é o tempo de reverberação do ruído que é gerado no ambiente externo e passa para o ambiente interno. T0 é o tempo de referência de reverberação, que equivale a 0,5s.

Na parte externa, foram colocadas fontes sonoras para emitir o ruído em posições estabelecidas pela ISO 140-5 (ISO, 1998), bem como os microfones para recepção e medição dos níveis de pressão do ruído externo.

A medição dos níveis de pressão na parte interna ocorreu de acordo com a norma ISO 140-5 (ISO, 1998) que estabelece que a distribuição dos microfones deve ter o maior espaçamento possível entre eles. Para a obtenção do tempo de reverberação,

foram colocadas fontes sonoras no interior da edificação, distantes, no mínimo, 1m em todas as direções, de qualquer posição de microfones. Por fim, é calculada a diferença de nível padronizada em função das medições obtidas. O quadro 9 mostra os valores das Diferenças Padronizadas de Nível Ponderadas obtidos, bem como resume o método adotado, a referência da norma e o atendimento à NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

Quadros 9 - Diferença de nível padronizada e metodologia medição das placas utilizadas.

Tipo de Placas	D2m,nT,w dB	Método usado	Referência	ABNT NBR 15-575
Placa de fibrocimento	22	Método da engenharia	ISO 140-5(1998) e ISO 717-1 (2020)	Ambas atendem
Placa Magnésiana	26			

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Zenerato et al., 2019.

O trabalho usou duas referências de medição, a ISO 140-5 (1998) e a ISO 717-1 (ISO, 2013), para conseguir chegar no parâmetro desejado para comparação, a diferença padronizada de nível ponderada, e analisar se tanto a placa de fibrocimento quanto a placa magnésiana atingiram o desempenho mínimo satisfatório e se, porventura, a placa magnésiana apresentava algum tipo de vantagem em relação à placa de fibrocimento, que é a placa mais utilizada no mercado brasileiro.

Na pesquisa de Zenerato et al (2019), percebe-se a importância da complementariedade das normas internacionais, as ISO'S, que utilizam metodologias consagradas de cálculo que são utilizadas de forma auxiliar à norma brasileira. Seguindo a metodologia de cálculo e a forma de medição dessas normas, pode-se obter os parâmetros desejados para comparar com a exigência das normas brasileiras.

O quadro 10 vai mostrar quais normas foram utilizadas tanto para a medição da diferença de nível de pressão sonora para cada banda de frequência, quanto para conversão em um único valor. Através da obtenção do índice que representa a diferença de nível padronizada, é possível comparar com o parâmetro da norma

brasileira, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021). O quadro 10 traz o resumo das normas utilizadas no estudo e o objetivo de cada uma delas.

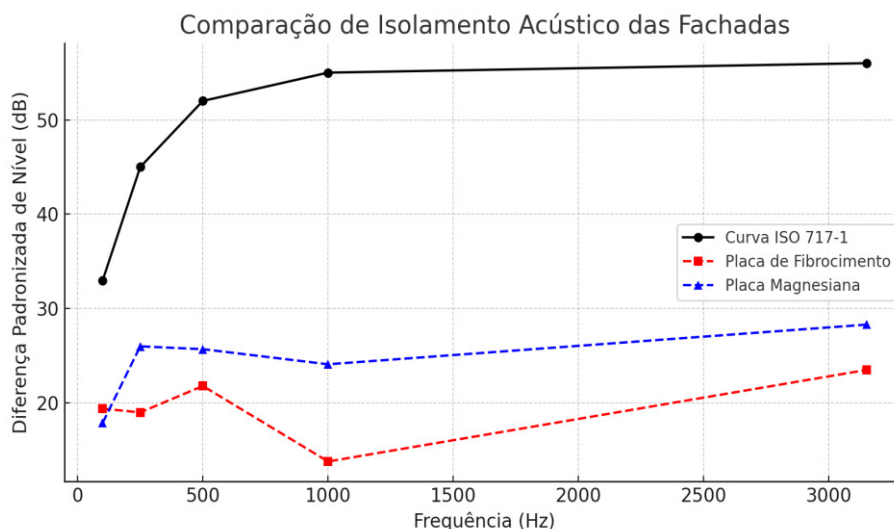
Quadros 10 - Uso e diferença das normas internacionais e brasileiras no desempenho acústico.

Norma	Objetivo
ISO 140-5	Define os métodos de medições em campo utilizando fonte sonora, microfones internos e externos
ISO 717-1	Define a metodologia de cálculo do índice de isolamento acústico a ruído aéreo ($D_{2m, nT,w}$) e a curva de referência.
NBR 15.575	Usa a metodologia da ISO 717-1, mas define valores mínimos exigidos para garantir o desempenho acústico adequado às edificações brasileiras

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nota-se também na pesquisa que os valores obtidos em campo parecem estar bem abaixo dos valores de referência da curva da ISO 717-1 (ISO,2013). Isso ocorre devido ao fato de que a curva utilizada serve de parâmetro, considerando valores ideais de isolamento para aquela faixa de frequência. Por isso, esses valores são convertidos em um único valor, o valor da diferença de nível padronizada, utilizando essa curva como referência segundo o cálculo da ISO 717-1(ISO,2013). Com isso, esses valores não indicam que o desempenho da edificação estará abaixo, pois os valores não são utilizados isoladamente e sim, em conjunto, para obter um único valor final. A figura 32 mostra os valores da diferença padronizada de nível ponderada para cada frequência, comparativamente com os valores da curva de referência, para cada tipo de placa.

Figura 32 - Gráfico: Valores de medição em campo comparados com a curva de referência da ISO 717-1 (ISO,2013)



Fonte: Adaptado de Zenerato et al., 2019.

Apesar de nenhuma das fachadas testadas atingir os valores de decibéis da curva de referência da ISO 717-1 (ISO, 2013), os resultados cumpriram os critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), quando convertidos em um único valor.

No quadro abaixo tem-se o resumo do que foi analisado pelo trabalho, mostrando que o uso da placa de magnésio apresentou um desempenho acústico superior em relação à placa de fibrocimento, com um ganho de 4 dB, ou seja, o estudo comprovou a influência do material no isolamento acústico da fachada, sugerindo alternativas para a construção a seco e estimulando o desenvolvimento de novas pesquisas com outros materiais alternativos para melhoria de desempenho acústico. Essa pesquisa também mostrou que apenas 4 dB de diferença classificou o isolamento da placa magnesiana de mínimo para intermediário e pode-se também estender a análise observando que a placa magnesiana atenderia ao nível mínimo da classe 2, enquanto que a de fibrocimento só atenderia ao critério mínimo da classe 1, conforme pode-se observar no quadro 11.

Quadros 11- Comparação entre os critérios da NBR 15575 e os resultados do estudo.

Classe de ruído	Nível Mínimo	Nível Intermediário	Resultado (dB) Fibrocimento	Resultado (dB) Magnesiana
Classe I	20	25	Atende nível mínimo (22dB)	Atende nível intermediário (26dB)
Classe II	25	30	Não Atende (22dB)	Atende nível mínimo (26dB)
Classe III	30	35	Não Atende (22dB)	Não atende (26dB)

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado da NBR 15575:2021.

Conforme mostra o quadro adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2021) a placa magnésiana poderia ser aplicada em locais com ruídos mais intensos contanto que não fossem tão intensos quanto aos sujeitos na classe 3, evitando assim mais gastos com isolamento em lã de vidro, e podendo deixar o sistema versátil, utilizando as placas magnésianas na parte externa do prédio e mantendo as placas de fibrocimento nas áreas internas da edificação. O quadro 12 traz os níveis de desempenho conforme localização da edificação.

Quadros 12- Classe de ruído de acordo com exposição de ruído conforme localização da edificação.

Classe de ruído	Localização da habitação	D2m,nT,w (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥20	M
		≥25	I
		≥30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II	≥25	M
		≥30	I
		≥35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	≥30	M
		≥35	I
		≥40	S

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O trabalho de Zenerato *et al.* (2019) usou a ISO 140-5 (ISO,1998), que já foi substituída pela ISO 16283 (ISO, 2016), que é citada como referência para a medição pelo método da engenharia pela NBR 15.575 (ABNT, 2021). A tabela utilizada também foi antiga, da norma de desempenho de 2013. Nessa norma o critério da classe de ruído ficava subjetivo e com isso, não era calculado. Na data do trabalho não havia sido feita a publicação da atualização da norma, o que só veio a ocorrer em 2021. Na atualização de 2021, a classe de ruído é calculada conforme os parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2021)

Toda a realização da medição sonora deve ser realizada com base na ISO 16283-1 (ISO, 2016) (paredes internas) ou na ISO 16283-3 (fachadas). A ISO 717-1 (ISO, 2013) define os critérios para a avaliação do isolamento acústico ao ruído aéreo, tanto em laboratório quanto em campo, e deve ser usada para obtenção da diferença padronizada de nível ponderada.

4.2 Desempenho acústico em fachadas - estudo de caso em Guarapuava - PR

A pesquisa de Luz (2022) analisou o desempenho acústico da fachada de uma residência em Guarapuava-PR, executada no sistema *Light Steel Frame* (LSF). O estudo seguiu normas técnicas, como a NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017), NBR 10151 (ABNT, 2019) e ISO 16283-3 (ISO, 2021) para medições do nível de pressão sonora, tempo de reverberação e ruído de fundo.

A fachada foi composta por camadas externas compostas de Placa de EPS (25 mm), placa de OSB (11 mm) e membrana hidrofóbica. As camadas internas foram compostas de placas de gesso acartonado (10 mm) e preenchimento interno com lã de PET. As esquadrias foram compostas de alumínio com vidro de 4 mm.

As medições foram conduzidas em três etapas principais: 1- *Medição do tempo de reverberação*, em que foram utilizadas duas posições de fonte sonora e três posições do sonômetro. NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017); 2 - *Medição do nível de pressão sonora externo e interno*, em que foi utilizada a fonte sonora omnidirecional e sonômetro, com 5 medições de 30 segundos. NBR 10151 (ABNT, 2019); 3 - *Avaliação do ruído de fundo* em que houve determinação do nível de ruído residual no ambiente interno. ISO 16283-3 (ISO, 2016)

Os resultados foram analisados com base na diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$), comparando-se aos critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Na tabela 1, têm-se os parâmetros medidos para cada frequência, a saber, níveis de pressão externa a 2m da fachada, níveis de pressão interno e tempo de reverberação. E, por fim, obter o parâmetro da diferença padronizada de nível.

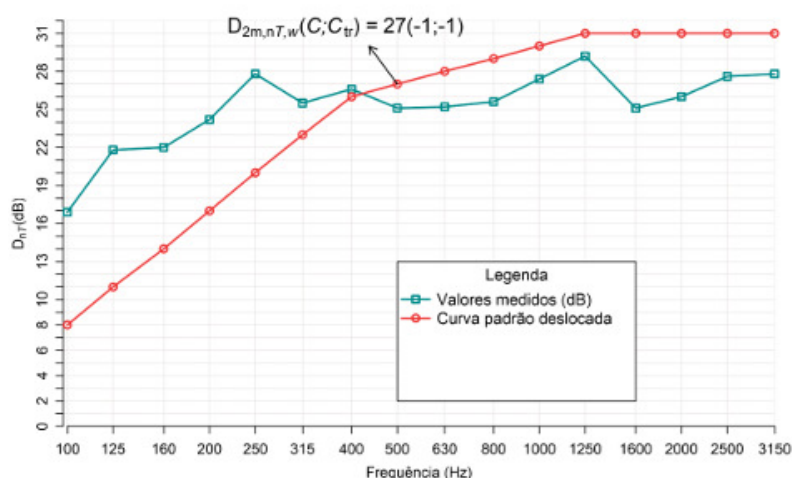
Tabela 1 - – Parâmetros medidos para cada valor de frequência para obtenção da diferença padronizada de nível.

Frequência (Hz)	L _{1,2m} (dB)	L ₂ (dB)	TR (s)	D _{2m,nT} (dB)
100	72,13	55,83	0,58	16,95
125	78,48	58,68	0,79	21,76
160	72,29	53,47	1,04	21,99
200	68,55	49,44	1,62	24,22
250	73,41	50,71	1,62	27,8
315	72,99	52,77	1,67	25,46
400	72,67	51,37	1,7	26,59
500	72,44	51,66	1,34	25,07
630	72,73	50,83	1,07	25,19
800	70,08	48,33	1,23	25,65
1000	70,58	47,1	1,22	24,47
1250	72,2	47,22	1,33	29,22
1600	68,98	48,13	1,35	25,15
2000	75,19	53,38	1,31	26,01
2500	75,1	51,45	1,25	27,64
3150	73,91	49,43	1,08	27,81

Fonte: Adaptado de Luz, 2022.

A fachada analisada apresentou $D_{2m,nT,w} = 27 \text{ dB}$, na frequência de 500Hz, após ser traçada a curva deslocada e, com isso, obtendo a classificação da fachada como desempenho *intermediário* para classe de ruído I, conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2021). A figura 33 ilustra o traçado da curva corrigida e o valor obtido fazendo a correspondência na frequência de 500HZ.

Figura 33 - Curva deslocada obtendo o valor da Diferença Padronizada de Nível Ponderada.



Fonte: Luz (2022), pág. 59.

O valor foi reduzido pelo fator de incerteza obtido, que ficou na faixa de 1,49. Para se obter a pior situação, foi reduzido de 1,49, obtendo o valor de 25,51 dB.

O sistema *Light Steel Frame* analisado demonstrou um desempenho acústico satisfatório para a região, atendendo à norma de desempenho 15575-4 (ABNT, 2021) no que diz respeito aos níveis de isolamento acústico aéreo de vedações externas, devendo ser igual ou maior que 20dB. Como o valor obtido ficou acima de 25 dB, não só atendeu ao mínimo como se classificou como intermediário na classe de ruído I. O valor da incidência da pressão sonora que incide sobre a fachada (Linc.) ficou igual a 48,19 dB, então para a classe de ruído I, que é o caso da habitação em estudo, o valor do Linc. também tem seus valores dentro do limite estabelecido. A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) traz os níveis de desempenho em fachadas para as classes de ruído I, II e III. O quadro 13 compara esses critérios com o desempenho alcançado pelo estudo em questão.

Quadros 13- Nível de desempenho alcançado comparando com os critérios da NBR 15575-4 (ABNT,2021).

Classe de ruído	Linc dB	D2m,nT,w (dB) Dormitórios	Níveis de desempenho	Nível alcançado
I	≤ 60	≥20	M	L inc = 48,19 dB Classe I
		≥25	I	
		≥30	S	
II	61 a 65	≥25	M	D2,m,n Tw = 27dB Intermediário
		≥30	I	
		≥35	S	
III	66 a 70	≥30	M	
		≥35	I	
		≥40	S	

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT,2021).

O trabalho de Luz (2022) utilizou a NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017) para medir o tempo de reverberação e assim poder fazer a pesquisa pelo método da engenharia. Também utilizou a NBR 10151 (ABNT, 2019) para calcular o nível de pressão sonora interno e externo, e por fim utilizou a ISO 16283-3 (ISO, 2016) para quantificar a diferença de nível e avaliar o isolamento a ruído aéreo em campo, seguindo todos os procedimentos necessários para embasar a análise, se mostrando como um trabalho confiável.

4.3 Análise da influência de sistemas de vedação verticais internos na carga de estrutura de edificações visando o desempenho acústico

O objetivo do artigo de Heller *et al.* (2021) foi analisar o impacto da especificação de elementos de vedação internos dos sistemas construtivos verticais na carga total da estrutura de um edifício, na etapa de projeto.

Analizou-se um edifício residencial de 23 pavimentos com área total de 13.547,54 m². O edifício possui 19 pavimentos tipos, 2 pavimentos de garagem e 2 pavimentos de serviço (casa de máquinas e topo). E foi considerado como sendo a sua estrutura de concreto armado.

Adotaram-se 4 sistemas construtivos de vedação vertical, dos quais 3 são em alvenarias (blocos de concreto, cerâmicos e blocos de concreto celular) e *Light Steel Frame*, e obtiveram-se os dados de isolamento acústico de cada um através de ensaios de laboratório de acordo com a NBR ISO 10140-2 (ABNT, 2021).

Foi feita a modelagem do edifício usando o sistema estrutural viga-pilar de concreto armado, utilizando laje nervurada em toda a estrutura, com exceção de áreas de jardins e sacadas, onde foram utilizadas lajes maciças. Fez-se o dimensionamento utilizando o método de elementos finitos, fazendo a modelagem da edificação no TQS.

Os carregamentos do edifício foram divididos em 4 grupos: peso próprio, uso, vedações verticais externas e vedações verticais internas. Como estava analisando as vedações internas, esse último grupo foi o único que sofreu variação de carregamento entre os sistemas analisados e, com isso, se obteve a porcentagem do peso de cada tipo de vedação interna em relação ao peso da soma dos 04 tipos de carregamentos analisados.

Dentre os sistemas a serem analisados, foi apresentado o R_w , que é o isolamento sonoro a ruídos aéreos obtidos através de ensaios em laboratórios, que são feitos em câmaras reverberantes do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil - itt Performance/UNISINOS, seguindo as premissas da NBR ISO 10140-2 (ABNT, 2021). A tabela 2 apresenta o resumo das características dos elementos construtivos analisados.

Tabela 2 - Isolamento sonoro a ruídos aéreos em laboratório (R_w) e massa por m^2 para diferentes sistemas.

Material	Massa (kg/m^2)	Espessura (mm)	Índice R_w (dB)
Bloco de concreto de 14 cm de espessura com revestimento argamassado de 3cm (externo) e 2,5cm (interno)	310	190	46
Bloco cerâmico de 14cm de espessura com revestimento argamassado de 3cm (externo) e 2,5cm (interno)	295	190	45
Bloco de concreto celular de 20cm de espessura com revestimento argamassado de 1,5cm (externo) e 1,5cm (interno)	176	230	46
DryWall duplo com placas OSB - Perfis de aço de 9cm de espessura, duas placas OSB de 1,1cm cada e duas placas de gesso acartonado 1,25 cm cada	48	140	48

Fonte: Adaptado de Heller et al., 2021.

Como pode ser observado, para se obter um isolamento acústico similar em relação ao ruído aéreo, é necessário um quantitativo de massa em cada sistema, sendo a do *Light Steel Frame* a menor massa dentre os sistemas construtivos analisados para a faixa de isolamento similar. Vale ressaltar que os sistemas de parede atendem aos requisitos da norma de desempenho 15575 (ABNT,2021), em paredes que não dividam ambientes que contenham dormitórios. A norma exige que o isolamento sonoro a ruídos aéreos em laboratório seja maior ou igual a 43 dB em ambientes que não contenham dormitório, para sistemas pesados, e no mínimo 45dB nas mesmas condições, para sistemas leves. Esse isolamento é explicitado conforme o quadro 14.

Quadros 14- Valores de referência, R_w , a isolamento a ruído aéreo em SVVI.

Elemento	R_w (Sistemas pesados) dB	R_w (Sistemas leves) dB
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações em que não haja ambiente de dormitório	≥ 43	≥ 45
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 48	≥ 50
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadarias nos pavimentos	≥ 43	≥ 45
Parede cega entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadarias nos pavimentos, nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 33	≥ 35
Parede cega entre o dormitório ou sala de uma unidade habitacional e as áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	≥ 48	≥ 50

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

O DryWall com placas OSB, que é utilizado no sistema *Light Steel Frame*, atinge um nível de desempenho mínimo para paredes em que não haja ambiente de dormitório.

Outro fator analisado foi a redução da carga do edifício utilizando cada SVVI apresentado. Apesar de existir variação do peso por metro quadrado entre a alvenaria de blocos cerâmicos vazados com revestimento argamassado (295 kg/m²) e a alvenaria de blocos vazados de concreto com revestimento argamassado (310 kg/m²), não houve variação de porcentagem do peso dos sistemas de vedação internos em relação ao somatório total dos quatro tipos de carregamentos analisados, ou seja, os sistemas de vedação internos citados acima ficaram na faixa de 21% em relação ao carregamento total.

Com relação ao bloco de concreto celular com revestimento argamassado, esse sistema de vedação interna representou 13% em relação ao somatório do peso total dos quatro carregamentos analisados.

Por fim, no *Light Steel Frame*, que a vedação interna é composta por placa de gesso acartonado, perfis de aço conformados a frio, isolamento em lã de vidro e fechamento em placas de OSB, esse sistema de vedação interno se mostrou com a menor porcentagem de carregamento em relação ao carregamento total, que foi de apenas 4%.

Com isso, percebe-se que o *Light Steel Frame* pode alcançar as mesmas condições de desempenho acústico, diminuindo significativamente a porcentagem de carregamento em relação a elevações internas, tendo um ganho de 17% em relação aos sistemas de blocos de concreto e blocos cerâmicos que são bastante usuais no Brasil. O quadro 15 traz o resumo do resultado de cada sistema de vedação, considerando o índice de isolamento sonoro medido em laboratório e o impacto na estrutura.

Quadros 15 - Relação entre o isolamento acústico e o impacto na estrutura.

Material	Massa (kg/m ²)	Espessura (mm)	Índice Rw (dB)	Observações
Bloco de concreto com argamassa	310	190	46	Excelente isolamento, alta carga estrutural
Bloco cerâmico com argamassa	295	190	45	Bom isolamento, mas pesado
Bloco de concreto celular com argamassa	176	230	46	Carga moderada e bom isolamento térmico/ acústico
DryWall duplo com placas OSB	48	140	48	Melhor desempenho acústico, e maior leveza

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O trabalho de Heller *et al* (2021) não realizou medições para suas comparações, mas utilizou os resultados obtidos por meio dos ensaios realizados nas câmaras reverberantes do Instituto Tecnológico em Desenvolvimento e Construção, que seguem as premissas da NBR ISO 10140-2 (ABNT, 2021) para obtenção dos dados relacionados ao isolamento sonoro a ruídos aéreos de vários sistemas, se mostrando confiável por relacionar os dados de um instituto confiável de testes laboratoriais. Além disso, após a medição do sistema nas câmaras reverberantes, o cálculo do índice de redução sonora em laboratório (Rw) é obtido pelo mesmo ISO que determina o resultado em campo, que é O ISO 717-1 (ISO, 2013). O trabalho usou os critérios de classificação da 15.575 (ABNT,2013), possivelmente por não ter atualização da norma no momento do trabalho.

4.4 Desempenho Acústico de Materiais Resilientes no Isolamento ao Ruído de Impacto

O estudo de Santos *et al.* (2022) avalia a influência da compressão de materiais resilientes no isolamento ao ruído de impacto em sistemas de piso flutuante, focando em placas cimentícias com resíduos de EVA (PEVA1,8) e manta de PET reciclado (MantaPET). Foram realizados ensaios laboratoriais de ruído de impacto (RI), rigidez dinâmica (RD) e fluência à compressão (FC) ao longo de até três anos. Estimativas para dez anos foram feitas com base em modelos teóricos e testes de compressão.

Foram analisados dois tipos de materiais no que diz respeito ao isolamento de ruído de impacto, são eles: 1 - PEVA1,8, que são placas cimentícias com agregados leves de EVA, espessura de 1,8 cm, e 2 - MantaPET, que é uma manta comercial de fibras recicladas de PET, com espessura de 8 mm. Ambos os materiais foram testados sob carga estática em protótipo de câmara acústica para simular um sistema de piso flutuante.

A EVA é um copolímero usado na indústria para confecção de solados e palmilhas, e o resíduo gerado está atrelado ao processo de corte das mantas de EVA e no lixamento na fase de acabamento dos calçados.

Essa placa cimentícia composta com agregados leves é mais usual no mercado do que a manta e tem as seguintes características: 1 - agregado leve com diâmetro característico de 6,3mm e massa unitária de 90,28kg/m; 2- Cimento CP II-F-32 na dosagem do traço com relação à massa de 1:8 (cimento:EVA); 3 - Relação água-cimento igual a 0,5; 4- Espessura da placa igual a 1,8cm. O material foi homogeneizado, colocado na forma metálica, posteriormente foi prensado a uma carga de 6000N e, após desmoldadas, foram levadas a uma estufa a 100 graus por 24h, fazendo com que a placa ficasse com uma densidade linear de 388,9 kg/m, tornando-a mais leve.

Para a metodologia usada para estimar o desempenho acústico em relação ao ruído de impacto, foi utilizada a teoria que relaciona a rigidez dinâmica do material resiliente utilizado nos sistemas de pisos flutuantes para se obter a estimativa do desempenho

acústico do ruído de impacto. Isso foi feito por meio da obtenção da frequência obtida por meio da equação que relaciona a obtenção da frequência de acordo com a massa do sistema a ser ensaiado. De acordo com essa equação, pode-se obter a frequência do sistema ensaiado e, de posse da frequência fundamental de ressonância da vibração vertical do sistema massa-mola, pode-se obter a variação do desempenho acústico em relação ao ruído de impacto e compará-lo com o desempenho sem o sistema utilizado.

Essa comparação foi feita não só momentaneamente, mas ao longo do tempo para saber se a resistência à compressão e consequente diminuição da rigidez influenciava no desempenho acústico ao ruído de impacto dos sistemas estudados.

Com relação ao desempenho inicial do sistema com placa cimentícia utilizando resíduos de EVA (PEV 1,8), foi observado desempenho de 61 dB, classificado na norma de desempenho 15.575 como intermediário, e o desempenho inicial da manta PET foi de 55 dB, ou seja, desempenho superior.

Foi observado também que, ao longo do tempo, com a compressão dos sistemas utilizados, houve uma redução da rigidez dinâmica para a placa cimentícia com resíduo de EVA, saindo de 20 MN/m³ e chegando a 17,7 MN/m³ após 3 anos, com melhoria no isolamento acústico de 1 dB, enquanto que a manta PET, com a solicitação de compressão com o passar do tempo, ganhou rigidez dinâmica e, com isso, perdeu levemente o seu isolamento acústico na faixa de 1 dB. Sua rigidez aumentou de 2 MN/m³ para 3,5 MN/m³ após 2 anos. Também foi estimada a deformação para 10 anos, com os seguintes resultados: A placa com resíduo de EVA teria uma deformação estimada em 3,42%, concluindo que não haverá impacto significativo no desempenho acústico do material, enquanto que a manta PET teria uma deformação mais significativa na ordem de 20%, com possível perda de 3 dB a longo prazo.

Fazendo uma correlação entre os resultados obtidos e a norma mais atualizada de desempenho, percebe-se que, inicialmente, a placa cimentícia tem um desempenho intermediário apenas para sistemas de piso de unidades habitacionais autônomas sobre sala e sobre dormitório. Para sistemas de piso de áreas de uso coletivo, como atividades de lazer e esportivas sobre dormitórios, a placa não atende ao desempenho

mínimo que limita o nível de isolamento ao ruído de impacto ao máximo de 55 dB. A placa também não atende à limitação do valor de isolamento a ruído de impacto nos sistemas de piso de áreas de uso coletivo sobre sala de unidades habitacionais autônomas, que limita a 50dB para se atingir o critério mínimo que é aplicado (nesse caso, sendo o critério intermediário, visto que o mínimo não se aplica). Como ela sofre pouca influência da sua capacidade de isolamento ao ruído de impacto, mesmo com o passar do tempo, ela manterá o seu nível de isolamento acústico no padrão estabelecido.

Com relação à manta de PET, ela tem um desempenho acústico do ruído de impacto inicial superior para sistemas de piso de unidades habitacionais autônomas, tanto sobre dormitórios quanto sobre salas, mas quando se analisa sua aplicação em sistemas de piso de áreas de uso coletivo, ela atinge o desempenho mínimo quando esse sistema é aplicado sobre o dormitório dessas unidades. E quando os sistemas de piso dessas áreas de uso coletivo são aplicados sobre a sala de unidades habitacionais, ela não atinge o mínimo aplicável, que é critério intermediário que limita o ruído de impacto a 50 dB.

Analizando a longo prazo esse material aplicado, a manta PET tende a perder 3dB da sua capacidade de isolamento, fazendo com que a longo prazo ela caia seu nível de desempenho em relação ao critério do nível de ruído de impacto, saindo da categoria superior e indo para a categoria intermediária nos sistemas de piso de unidades habitacionais sobre dormitório e sobre salas. Enquanto isso, ao passar do tempo, ela não atingirá o nível mínimo caso seja aplicada em sistemas de piso de áreas de uso coletivo sobre dormitório.

Ou seja, a pesquisa mostra que ambos os materiais utilizados atingem o nível mínimo desejado, se enquadrando em níveis intermediários ou superiores, porém sempre é importante analisar em que ambiente será aplicado, pois conforme a análise acima, a depender do uso, os materiais mudam o nível de desempenho ou até mesmo nem atingem níveis satisfatórios para serem utilizados em determinadas aplicações. Além disso, pode-se perceber que o passar do tempo pode influenciar na capacidade de isolamento do sistema quando utilizados determinados materiais, sendo importante analisar a estimativa de desempenho do material.

A pesquisa trouxe pontos importantes e relevantes no que diz respeito à análise no tempo e traz à tona a importância de se questionar se o material utilizado no sistema de piso irá atender ao desempenho inicial até o fim de sua vida útil. Também fez uma análise importante ao se estimar o desempenho do ruído sem necessidade de fazer o teste conforme as ISO's apresentadas na norma de desempenho, trazendo uma alternativa à forma de conseguir o mesmo parâmetro desejado para avaliar o desempenho acústico em relação ao ruído de impacto. O quadro 16 resume os principais resultados atingidos pela placa cimentícia com resíduo de EVA e da manta com resíduo PET.

Quadros 16 - Desempenho acústico ao longo do tempo - Placa com EVA e Manta com PE

Elementos analisados	Critérios medidos	Principais Resultados encontrados	Resumo
Placa cimentícia utilizando resíduos de EVA (Resíduo da indústria de calçados)	1- Desempenho acústico inicial (R_w) 2 - Rigidez Dinâmica (NM/M^2) ao longo do tempo 3 - Desempenho acústico final (3 anos) 4- Desempenho acústico (Estimativa para 10 anos)	1 - 61dB 2 - Redução de 20 para 17 3 - Melhoria de 1dB 4- Sem impacto significativo do desempenho do sistema	Ambas atinge resultado satisfatório nos parâmetros de desempenho da NBR 15.575:2021, com placa EVA não perdendo características significativas de isolamento ao longo do tempo e manta PET sendo mais impactada
Manta feita com resíduo de PET	1- Desempenho acústico inicial (R_w) 2 - Rigidez Dinâmica (NM/M^2) ao longo do tempo 3 - Desempenho acústico final (3 anos) 4- Desempenho acústico (Estimativa para 10 anos)	1 - 55dB 2 - Aumento de 2 para 3,5 3 - Piora de 1dB 4- Deformação alta, possível perda de 3dB	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

4.5 Diretriz SINATI

A diretriz SINAT N° 003 faz parte das diretrizes utilizadas para avaliação técnica de produtos. Esse documento, que é de autoria do ministério das cidades, foi revisado e publicado em dezembro de 2023, essa revisão é mais atual até o presente trabalho. A diretriz trata de sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas, ou seja, sistemas leves tipo “Light Steel Framing - LSF”. O quadro 17 traz a correlação das pesquisas analisadas com alguns critérios da Diretriz SINAT N°003.

Quadros 17 - Pesquisas correlacionadas com a diretriz SINATI.

QUADRO RESUMO DAS PESQUISAS AVALIADAS				
AUTOR	OBJETO DE ESTUDO	CRITÉRIOS SINATI	PARÂMETRO	RESULTADO
ZENERATO E AL (2019)	Fachadas com fechamento em Placas cimentícias e placas magnesianas	Isolação sonora promovida pelos elementos da envoltória - Fachada	Diferença Padronizada de Nível Ponderada (D2m, nTw)	As duas atendem à norma 15.575-4
LUZ (2022)	Fachadas com fechamento em Placas OSB e placas de EPS	Isolação sonora promovida pelos elementos da envoltória - Fachada	Diferença Padronizada de Nível Ponderada (D2m, nTw)	Atende à norma 15.575-4
HELLER ET AL (2021)	Conjunto = Placa de gesso acartonado / Placa de OSB / Perfil / Lã de vidro	Isolação sonora entre ambientes promovida pelas vedações verticais - Internas	Índice de redução sonora ponderado (Rw)	Atende à norma 15.575-4
SANTOS ET AL (2022)	placa cimentícia com EVA e Manta com fibras recicladas com resíduo de PET	Característica acústica quanto a ruídos de impacto em lajes de piso	Nível de pressão sonora de impacto ponderado (L'nTw)	Atende à norma 15.575-4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Observa-se que o Sistema *Light Steel Frame* tem grande versatilidade de execução dos seus sistemas e subsistemas, podendo ter inúmeras combinações de materiais que podem ser aplicados para o sistema de vedações internas e externas e também para o sistema de piso. Percebe-se que para cada caso e para cada projeto devem ter análises particulares de desempenho acústico dos sistemas analisados, para verificar o atendimento à norma. Nota-se também que a busca pelo atendimento do desempenho acústico fomenta o uso e teste de novos materiais. Para que haja atendimento à norma, devem ser testados em laboratório conforme padronização da ISO de referência e também testados em campo para conferir o atendimento à norma 15.575, seja em sistemas de piso, seja em sistemas de vedações verticais, seja interno ou externo.

Nota-se a importância do ensaio de redução do índice sonoro em laboratório para se ter um norteamento da eficácia do material quanto ao isolamento acústico e à sua aplicabilidade. Também é de suma relevância a medição em campo, pois vai verificar o atendimento da norma em conjunto com outros sistemas de vedação, como as

esquadrias, por exemplo, ou ainda em atuação com subsistemas como o de cobertura, piso e vedação interna ou externa atuando em conjunto.

A Diretriz 003 do SINAT apresenta os critérios relacionados aos tipos de ensaios que devem ser feitos para obtenção de fatores que quantifiquem o desempenho acústico de sistemas de vedações verticais internas, externas e pisos. O quadro 18 mostra quais unidades devem ser medidas e o parâmetro medido para cada critério da diretriz do SINATI para sistemas baseados em perfis conformados a frio.

Quadros 18 - Correlação dos critérios da diretriz SINATI e tipo de medição.

Diretriz para avaliação técnica de produtos Nº003 -2023			
TIPO DE ENSAIO	CRITÉRIOS	UNIDADE	MEDE
CAMPO	Isolação sonora promovida pelos elementos da envoltória	D2m, nTw	Isolamento a ruído aéreo, em campo, a 2m da fachada
CAMPO	Isolação sonora entre ambientes promovida pelas paredes internas	Dn,Tw	Isolamento a ruído aéreo, em campo
CAMPO	Isolação sonora de lajes de pisos entre unidades habitacionais	Dn,Tw	
LABORATÓRIO	Característica acústica quanto a ruídos de impacto em lajes de piso	L'nTw	Nível de pressão sonora de impacto
CAMPO	Característica acústica quanto a ruídos de impacto em cobertura	Dn,Tw	Isolamento a ruído aéreo, em campo
LABORATÓRIO	Isolação sonora promovida pelos elementos da envoltória	Rw	Isolamento a ruído aéreo, do material usado isoladamente , em laboratório
LABORATÓRIO	Isolação sonora entre ambientes promovida pelas verdações verticais internas	Rw	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Uma observação a ser feita é que os trabalhos foram feitos com base nas ISO's de referência, usando a medição através do método da engenharia, que é o mais recomendado, fortalecendo as referências citadas. Além disso, forneceram os dados necessários para comprovar que seguiam a metodologia correta. As pesquisas feitas em fachada mostraram o aparelho emissor de ruído exigido pela ISO 717-1 (ISO, 2013) como também os aparelhos receptores. Além disso, os trabalhos que avaliaram a diferença padronizada de nível ponderada mostraram a curva de referência e como obtiveram o valor final através da curva, o que também traz respaldo às pesquisas.

5.0 DISCUSSÕES

Em relação aos objetivos esperados, foi alcançado o objetivo de detalhar o sistema construtivo Light Steel Frame através de uma revisão bibliográfica, sendo observado com atenção todos os subsistemas que o compõem, resultado em divulgar melhor o sistema construtivo como um todo, possibilitando maior conhecimento aos gestores da construção civil e demais profissionais.

No que se refere ao desempenho ao isolamento de ruídos aéreos em fachadas, o objetivo foi parcialmente alcançado, pois não se pode comparar efetivamente, com os trabalhos analisados, qual fator ou material contribui para o aumento do desempenho acústico em fachadas, visto que os trabalhos analisados têm parâmetros e materiais diferentes, e além de serem ensaios realizados em campo com diferentes condições, portanto com resultados únicos aplicáveis apenas àquela medição. O que se pode extrair de positivo nessa análise é o fato de observar a importância do ensaio em campo para se atestar à comprovação do isolamento ao ruído aéreo, pois em laboratório o resultado sempre irá ser mais satisfatório quando aplicado em condições controladas.

No tocante ao terceiro objetivo, foi atendido o que se pretendia analisar, pois a pesquisa que comparou o desempenho acústico em laboratório dos subsistemas de vedação vertical interna, mostrou que, de fato, o DryWall combinado com placas OSB tem um desempenho acústico satisfatório com um peso bem menor que os outros subsistemas. Vale ressaltar que as placas OSB foram fundamentais para o atendimento do isolamento ao ruído em laboratório.

Com relação ao quarto objetivo, foi atendido parcialmente, pois a pesquisa só analisou material isolante, mas não foi testado o subsistema de piso por completo, apenas os materiais de vedação usados isoladamente. Esse resultado faz com que se desperte o interesse de testar novos materiais que podem ser usados tanto em sistema de pisos quanto em vedações verticais, porém é insuficiente para afirmar se o material, quando usado no subsistema de forma geral vai atender ao critério de campo de isolamento sonora em lajes de piso entre unidades habitacionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A industrialização da construção civil faz com que surjam não apenas processos de industrialização, como também sistemas que são criados com a finalidade de serem sistemas industrializados como um todo, como é o caso do *Light Steel Frame*. Contudo, a industrialização dos sistemas construtivos precisa atender a requisitos de desempenho de edificações que são aplicados a todos os sistemas construtivos, fazendo assim, com que haja padronização da qualidade das edificações para o usuário e cliente final. Diante disso, a norma de desempenho traz uma atualização, em 2021, de sua primeira versão, no ano de 2013, deixando os gestores da construção atentos à mudança de parâmetros de conforto e qualidade das edificações mais modernas. Nesse cenário, observa-se que o *Light Steel Frame* tem sistemas de vedações que tem potencial de atender aos critérios de conforto e qualidade em relação ao desempenho acústico. Ao reunir e analisar o conhecimento existente na literatura, espera-se que os resultados obtidos possam apoiar futuras pesquisas e o desenvolvimento de soluções que garantam um desempenho acústico adequado para edificações em *Light Steel Frame*, alinhado às demandas do mercado e às necessidades dos usuários. Como sugestões de pesquisas futuras e complementares, recomenda-se o estudo mais aprofundado dos testes em campo de diferença padronizada de nível ponderada em coberturas, para analisar se há grande influência desse subsistema no isolamento acústico. Recomenda-se também, o uso de materiais isolantes com resíduos reciclados em laboratórios para potencializar o sistema construtivo *Light Steel Frame* como um sistema que além de reduzir desperdícios, pode reutilizar resíduos sólidos favorecendo a ideia de um sistema mais sustentável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. Quais são as opções de fechamento externo em Steel Frame? Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/site/noticias/quais-sao-as-opcoes-de-fechamento-externo-em-steel-frame>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Manual da construção industrializada: conceitos e etapas. Volume 1: estrutura e vedação. Brasília: ABDI, 2015. Acesso em: 27 dez. 2024.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Acesso em 20 de fevereiro de 2025.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. p. 19–20.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2021. p. 42-43.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. p. 41–43.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10052:2004 – Acústica – Medição em campo da isolamento sonora de edifícios e de elementos de edificações – Medições de engenharia simplificadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3382-2:2017 – Acústica – Medição de parâmetros acústicos de salas – Parte 2: Tempo de reverberação em salas ordinárias. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos e internos à edificações – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10140-2:2021: Acústica - Medição em laboratório do isolamento acústico de elementos de edificações - Parte 2: Medição do isolamento a sons aéreos. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15253: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BLACHÈRE, G. Saber construir: habitabilidad, durabilidad, economia de los edificios. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1978. Acesso em: 27 dez. 2024.

CAVALLIER, G.; COSTELLA, M. F.; GIONGO, E. et al. Desempenho térmico, acústico e estrutural do *Light Steel Frame*, DryWall e Parede de Concreto segundo NBR 15.575. Revista de Engenharia e Tecnologia, Passo Fundo, v. 8, n. 2, p. 81-90, ago. 2016. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11646>>. Acesso em: 02 fev. 2025.

COELHO, André Santos Ribeiro. *Light steel frame*: recomendações de projeto, processo construtivo e detalhes orçamentários. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014. Acesso em: 14 mar. 2025.

ESPAÇO SMART. 10 ideias de revestimento Steel Framing. Disponível em: <<https://conteudo.espacosmart.com.br/10-ideias-de-revestimento-steel-framing/>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

GOMES, C. E. M. et al. *Light steel frame* na produção de moradias no Brasil. Anais [...]. Lisboa: Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista - CMM, 2013. Acesso em: 29 dez. 2024.

HELLER, B.; MEZZOMO, P.; PIRES, J. et al. Análise da influência de sistemas de vedação verticais internos na carga das estruturas de edificações visando o desempenho acústico. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 10, n. 1, p. 1-18, jan./jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.18256/2318-1109.2021.v10i1.3911>>. Acesso em: 01 fev. 2025.

HOLANDA, Dackyson Kelwyn de Souza Lopes et al. *Light steel frame*: uma revisão da literatura. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 7, p. 149–156, 1 ago. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.51891/rease.v9i7.10557>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16283-1:2016 – Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Geneva: ISO, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16283-3:2016 – Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Façade sound insulation. Geneva: ISO, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-1:2013 – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. [S. l.], 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-2:2013: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation. [S. l.], 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 140-5:1998: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements. [S. l.], 1998.

LAGO, Alexandre Garcia; SOUZA, Juliana Marques de; SOUZA, Morganna Erbes de. Racionalização na construção civil: identificação de processos construtivos potencialmente racionalizáveis. 2012. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LINNER, T.; BOCK, T. Evolution of large-scale industrialization and service innovation in Japanese prefabrication industry. *Construction Innovation*, v. 12, n. 2, p. 156-178, 2012. Acesso em: 27 dez. 2024.

LUZ, Matheus Francisco da. Análise do desempenho acústico de fachada executada em *Light Steel Frame*: estudo de caso em uma residência na cidade de Guarapuava-PR. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29201>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MARINHO, Luciomar Dias. Viabilidade da utilização do sistema *Light Steel Frame*. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 1–15, 2017. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/arquitetura/sistema-light-steel-frame>. Acesso em: 15 de março de 2025.

MALVEZZI, Betina Fagundes Martins; LORENZI, Luciani Somensi; PRETTO, Márcia Elisa Jacondino. Análise de relatórios de ensaios quanto ao isolamento de ruído de impacto padrão em sistemas de pisos de edificações. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 1., 2017. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2017. DOI: 10.17648/tecsic-2017-72101. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/2420>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MORAIS, G. A. T.; LORDSLEEM JR., A. C.; ANDERY, P. R. P. Implementação da norma de desempenho NBR 15575:2013: estudo de caso em Recife/PE. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 16, n. 2, 2021. DOI: 10.11606/gtp.v16i2.167683.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho: guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2021 - Edificações habitacionais - Desempenho. Disponível em: <proacustica_manualnorma_nov_2013.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

RIBEIRO, Marcellus Serejo. A industrialização como requisito para a racionalização da construção. Rio de Janeiro: UFRJ / PROARQ / FAU, 2002. 93 p. Acesso em: 27 dez. 2024.

RIBEIRO, Vitor de Melo. Vantagens em adotar o *Light Steel Frame*: comparativo entre o método construtivo *Light Steel Frame* e o método convencional de alvenaria. 2018. Minas Gerais: Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/644>>. Acesso em: 30 dez. 2024.

RODRIGUES, Francisco Carlos; CALDAS, Rodrigo Barreto. Steel Framing: Engenharia. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil; Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, 2016. 224 p. (Série Manual de Construção em Aço). ISBN 978-85-89819-39-8. Acesso em 20 de janeiro de 2025

SALES, Urânia Costa. Mapeamento dos Problemas Gerados na Associação entre Sistemas de Vedação e Estrutura Metálica e Caracterização Acústica e Vibratória de Painéis de Vedação. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração: Estruturas Metálicas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001. p. 88-89.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. Steel Framing: Arquitetura. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil; Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, 2012. 151 p. (Série Manual de Construção em Aço). ISBN 978-85-89819-32-9. Acesso em 16 de janeiro de 2025.

SANTOS, F. A. dos; MELO, A. B. de; PIMENTEL, R. L.; OLIVEIRA, M. F. de. Análise da fluência por compressão no isolamento ao ruído de impacto de placas cimentícias com resíduo de EVA. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 125-138, jan./mar. 2022.

SILVA, João da; OLIVEIRA, Maria de. Análise de parâmetros acústicos em edificações de ensino e pesquisa utilizando a NBR 15.575: um estudo de caso. *Revista de Acústica*, v. 47, p. 1-10, 2025. Disponível em: <https://acustica.emnuvens.com.br/acustica/article/view/aev47_nbr15575>. Acesso em: 11 mar. 2025.

STEEL FRAME BRASIL. Tipo de acabamento no Steel Frame. Disponível em: <<https://steelframebrasil.com.br/tipo-de-acabamento-no-steel-frame/>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SULMONETI, Roberto de Carvalho. Estudo de métodos construtivos industrializados. 2018. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Acesso em: 28 dez. 2024.

ZENERATO, T. S.; MARTINS, J. F. A.; BERTOLI, S. R. et al. Análise acústica de fachadas de *Light Steel Frame* e placas cimentícias. *Revista Matéria*, v. 24, n. 2, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.068>>. Acesso em: 01 fev. 2025.