

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Camila Cristiane Caumo Zonta

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO:
ESTUDO DE CASO EM CONDOMÍNIO DE INTERESSE SOCIAL LOCALIZADO
EM AVENIDA DA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

**Porto Alegre
Janeiro 2024**

CAMILA CRISTIANE CAUMO ZONTA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO:
ESTUDO DE CASO EM CONDOMÍNIO DE INTERESSE SOCIAL LOCALIZADO
EM AVENIDA DA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do
Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre

Janeiro 2024

CAMILA CRISTIANE CAUMO ZONTA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO:
ESTUDO DE CASO EM CONDOMÍNIO DE INTERESSE SOCIAL LOCALIZADO
EM AVENIDA DA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 24 de janeiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof.^a Fernanda Lamego Guerra (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Caroline Giordani (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha querida avó Luiza (*in memoriam*), pelas diversas vezes que me incentivou a correr atrás dos meus sonhos e ser a mulher que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Difícil colocar em palavras o sentimento de gratidão que tenho por todas as pessoas que fizeram parte desse processo tão louco e desafiador que foi sair do interior, da casa dos meus pais, aos 18 anos, para fazer faculdade em uma cidade grande e completamente diferente para mim.

Agradeço imensamente aos meus pais, Nevito e Terezinha. Eles, que mesmo sem possuir ensino médio completo, foram capazes de compreender a importância de uma formação superior de qualidade para a minha vida e de serem os meus maiores incentivadores.

Agradeço a minha irmã mais velha, Carine, que sempre foi o alicerce da nossa família, cuidando e fazendo tudo por todos enquanto eu estava longe. Agradeço a minha irmã mais nova, Kauana, por ser sempre o meu porto seguro, a pessoa que me entende como ninguém e para quem eu corro quando preciso de colo.

Agradeço ao meu amigo Arthur, o qual embarcou junto nesse novo desafio, lá em 2018, morou comigo durante quatro anos e compartilhou os melhores e os piores momentos do início à praticamente o fim da faculdade. As nossas noites de fofoca e cervejinha sem dúvidas tornaram todo esse processo mais fácil.

Agradeço a melhor pessoa que Deus poderia ter colocado na minha vida, minha namorada Daniella, por segurar a minha mão em absolutamente todos os momentos em que precisei. Por entender a minha ausência e ficar do meu lado sempre. Por trazer leveza e descontração nos momentos mais difíceis durante o desenvolvimento desse trabalho. Por confiar em mim, por enxergar a minha capacidade e ter mais certeza do que eu de que, no final, tudo daria certo.

Agradeço aos colegas e grandes amigos que carregou desde o início da graduação, Amadeu, Augureo, Fernando, Guilherme, Leandro, Razera, Sabrina e Trapp, pelos incontáveis dias e noites reunidos estudando ou fazendo trabalhos ao som de Summer Eletro Hits. Em cada momento difícil que passamos juntos, eu sabia que estávamos todos no mesmo barco e que com certeza sairíamos bem.

Agradeço ao meu gestor Vitor e ao mestre de obras Tiago, que me ensinaram muito do que é a engenharia na prática, além dos demais colegas de trabalho que de alguma forma contribuíram para a minha formação enquanto estagiária e assistente de obras. Por último, agradeço a UFRGS e aos professores por todo o conhecimento disponibilizado, em especial à minha orientadora Cristiane, por ter me apoiado e enxergado potencial desde a primeira vez que conversamos sobre o desenvolvimento desse estudo de caso.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein (1879-1955)

RESUMO

Os condomínios de interesse social, oriundos de uma parceria entre construtoras e o Governo Federal, são mecanismos de diminuição da desigualdade, uma vez que permitem condições dignas de moradia para os mais desfavorecidos. No entanto, para que se tornem rentáveis às construtoras, usualmente essas construções são planejadas e desenvolvidas de maneira a reduzir custos em materiais e mão de obra. À vista disso, surge a necessidade de controle para que as habitações ofereçam requisitos mínimos de conforto e habitabilidade aos usuários. Neste trabalho, foi analisado o desempenho acústico de esquadrias de alumínio em um condomínio de interesse social localizado em uma avenida arterial da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. O acompanhamento da execução do empreendimento, bem como a análise do projeto de esquadrias de alumínio, dos materiais utilizados e dos ensaios realizados, permitiram a obtenção de conclusões referentes ao atendimento ou não das exigências mínimas de desempenho. Foram estudadas as classes de ruído I, II e III, além das tipologias de janela de correr com vidro *float* 3 mm e de janela alçante com vidro laminado 3+3 mm aplicadas no empreendimento. Ao final do estudo, observou-se que as duas esquadrias especificadas em projetos atenderam aos critérios normativos de desempenho para as classes de ruído nas quais foram utilizadas, comprovando que existem soluções capazes de aliar qualidade e custo moderado, permitindo que os empreendimentos econômicos ofereçam conforto acústico aos usuários. Ademais, destaca-se a importância das Normas Brasileiras na construção civil, bem como a necessidade dos ensaios de campo para comprovar a eficiência dos sistemas instalados.

Palavras-chave: Empreendimento de interesse social; Desempenho acústico; Esquadrias de alumínio; Vidro *float*; Vidro laminado.

ABSTRACT

Social interest housing, originated from a partnership between construction companies and the Federal Government, are means for reducing inequality, as they allow adequate housing conditions for the most disadvantaged people. However, in order for construction companies to become profitable, these constructions are usually planned and developed in an extremely economical way, aiming to reduce costs in materials and labor. Therefore, there is a need for control in order that homes offer minimum comfort and habitability requirements to users. In this research, it was analyzed the acoustic performance of aluminum frames in a social interest housing located on a busy avenue in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. The project execution monitoring, as well as the analysis the design of aluminum frames, the materials used and the tests carried out, allowed conclusions regarding the minimum requirements of performance. Noise classes I, II and III were studied, as well as the typologies of sliding window with 3 mm float glass and hinged window with 3+3 mm laminated glass applied in the project. It was observed that the two frames specified in the design projects meet the normative performance criteria for the noise classes in which they were used, proving that there are solutions capable of combining quality and moderate cost, allowing economic projects to offer acoustic comfort for users. Furthermore, the importance of regulations in civil construction stands out, as well as the need for field tests to prove the efficiency of the installed systems.

Keywords: Social interest housing; Acoustic performance; Aluminum frame; Float glass; Laminated glass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização da janela de correr	19
Figura 2 - Caracterização da janela alçante	19
Figura 3 - Processo de fabricação do vidro <i>float</i>	21
Figura 4 - Caracterização do vidro laminado	21
Figura 5 - Caracterização do vidro insulado.....	22
Figura 6 - Implantação do condomínio (imagem simplificada de projeto)	26
Figura 7 - Planta baixa do apartamento (imagem simplificada de projeto).....	27
Figura 8 - Planta baixa do apartamento PCD (imagem simplificada de projeto).....	28
Figura 9 - Quadro de planejamento em Linha de Balanço	29
Figura 10 - Fluxograma da equipe técnica de Acabamentos.....	30
Figura 11 - Foto de satélite com a localização dos pontos de medição.....	31
Figura 12 - Mapa da propagação de ruído no entorno do empreendimento.....	32
Figura 13 - Corte C1 mostrando os níveis de pressão sonora na região.....	33
Figura 14 - Corte C2 mostrando os níveis de pressão sonora na região.....	33
Figura 15 - Perspectiva 1 da simulação mostrando os níveis de ruído incidentes nas fachadas Norte e Oeste	33
Figura 16 - Perspectiva 2 da simulação mostrando os níveis de ruído incidentes nas fachadas Sul e Leste	34
Figura 17 - Planta com os níveis de pressão sonora incidentes nas fachadas dos blocos ao Norte	34
Figura 18 - Planta com os níveis de pressão sonora incidentes na fachada dos blocos à Sul ..	35
Figura 19 - Classes de Ruído determinadas para as fachadas do Empreendimento.....	36
Figura 20 - Projeto da esquadria de correr de alumínio com vidro <i>float</i>	37
Figura 21 - Projeto da esquadria alçante de alumínio com vidro laminado	38
Figura 22 - Detalhe da fixação superior da esquadria	38
Figura 23 - Detalhe da fixação inferior da esquadria	39
Figura 24 - Procedimento de instalação das esquadrias	40
Figura 25 - Teste de ruído das esquadrias	41
Figura 26 - Planta do dormitório onde foram realizadas as medições, evidenciando a fachada ensaiada	44
Figura 27 - Fachada onde foi realizado o ensaio	44
Figura 28 - Vista interna da fachada do dormitório avaliado	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Níveis de frequência esquadria de alumínio (vidro <i>float</i>).....	42
Gráfico 2 - Níveis de frequência esquadria de alumínio (vidro laminado)	42
Gráfico 3 - Valores de diferença de nível para janela alçante (vidro laminado)	45
Gráfico 4 - Valores de diferença de nível para janela de correr (vidro <i>float</i>).....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela de esquadrias	41
---------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de pressão sonora equivalente incidente nas fachadas da edificação para cada classe de ruído	18
Tabela 2 - Índice de redução sonora ponderado para esquadrias de alumínio	20
Tabela 3 - Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa de dormitórios.....	23
Tabela 4 - Comparativo entre ensaio de laboratório e dados teóricos.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo principal.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 DELINEAMENTO DO TRABALHO	14
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 CLASSE DE RUÍDO DA REGIÃO	16
2.2 DESEMPENHO ACÚSTICO DA ESQUADRIA E DO VIDRO.....	18
2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO APÓS INSTALAÇÃO DAS ESQUADRIAS	23
3 ESTUDO DE CASO	25
3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONSTRUTORA.....	25
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	26
3.3 MÉTODO CONSTRUTIVO DO EMPREENDIMENTO	27
3.4 DEFINIÇÃO DA CLASSE DE RUÍDO DA REGIÃO	30
3.5 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESQUADRIAS E DOS VIDROS	36
3.6 TESTES DE RUÍDO REALIZADOS EM CAMPO.....	43
4 ANÁLISE CRÍTICA DA SOLUÇÃO ESTUDADA	47
4.1 ESCOLHA DAS ESQUADRIAS E DOS VIDROS	47
4.2 ESQUADRIAS ENSAIADAS EM LABORATÓRIO	48
4.3 ESQUADRIAS ENSAIADAS EM CAMPO	49
4.4 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO	49
4.5 OUTRAS CONSIDERAÇÕES	50
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Os condomínios de interesse social são habitações financiadas pelo Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social que “[...] tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para a população de baixa renda [...]” (BRASIL, 2020, n.p), com o intuito de promover a diminuição da desigualdade à medida que oferecem condições dignas de residência aos mais desfavorecidos. Essas construções, no entanto, são usualmente planejadas e desenvolvidas de maneira extremamente econômica, buscando máxima redução de custos no que diz respeito a materiais e mão de obra, para que se tornem rentáveis às construtoras.

À vista disso, surgiu a necessidade de controle para que as habitações, ainda que de baixo custo, ofereçam requisitos mínimos de conforto e habitabilidade aos usuários. O programa habitacional *Minha Casa Minha Vida*, cujo principal financiador é a Caixa Econômica Federal, é um exemplo no qual a financiadora solicita em seus contratos o atendimento aos critérios estabelecidos pela norma de desempenho de edificações habitacionais, como forma de controle (Pires, 2015).

A NBR 15575 - Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2021), em vigor desde 2013, estipula, entre outros fatores, requisitos mínimos de desempenho acústico do sistema de vedação vertical e do sistema de piso, para cada classe de ruído, conforme enfatiza Serrano (2019, texto digital):

A NBR 15575 trata dos níveis de desempenho acústico das paredes externas, das esquadrias utilizadas em dormitórios, das paredes internas que separam duas unidades, das paredes internas que separam as unidades das áreas comuns, do conjunto de paredes e portas que separam duas unidades, e dos sistemas de pisos com relação ao ruído aéreo e de impacto. Na norma, são encontrados níveis mínimos, intermediários e superiores de desempenho acústico exigidos para a construção de edificações habitacionais.

Conforme aponta Boufleur (2013), os tópicos descritos na norma exigem que a indústria da construção esteja em alerta e avalie as soluções construtivas adotadas, garantindo que as empresas sigam os padrões mínimos de qualidade e conforto na execução das edificações, podendo, ainda, serem punidas legalmente caso haja o descumprimento da norma. Entretanto, para Oliveira e Heissler (2021), a norma não apresenta um critério objetivo para escolha de sistemas construtivos baseados no desempenho acústico, apesar de especificar qual deverá ser o grau de isolamento dos ambientes, deixando a cargo das construtoras a apuração dos materiais

e métodos a serem utilizados. Portanto, necessita-se de uma avaliação criteriosa quanto ao atendimento das construtoras às condições mínimas de bem-estar e conforto acústico em habitações de relevância popular.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão classificados em principal e específicos, sendo descritos nos itens seguintes.

1.1.1 Objetivo principal

O trabalho proposto possui como objetivo principal a determinação do nível de desempenho acústico de esquadrias de alumínio instaladas em um condomínio de interesse social localizado em uma via de tráfego intenso da cidade de Porto Alegre – RS, a fim de comparar os resultados obtidos com os requisitos solicitados pela norma de desempenho.

1.1.2 Objetivos específicos

Destacam-se como objetivos específicos deste estudo:

- a) definir critérios de avaliação para o desempenho acústico de esquadrias, baseados em fontes teóricas e normas regulatórias;
- b) analisar o desempenho acústico do sistema construtivo utilizado na habitação em estudo e compará-lo aos requisitos solicitados pela NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2021);
- c) avaliar as soluções adotadas pela construtora perante o propósito da empresa de construir com o menor custo possível.

1.2 DELINEAMENTO DO TRABALHO

Com base na literatura e nos materiais disponíveis sobre o tema abordado, em conjunto ao estudo dos métodos e materiais utilizados, realizou-se uma revisão bibliográfica a fim de compreender, de maneira aprofundada, quais são os requisitos mínimos de conforto acústico

impostos pela norma de desempenho para, dessa forma, realizar a análise crítica do tema em questão.

Atrelado a isso, efetuou-se a análise do projeto de esquadria de alumínio do condomínio de interesse social, buscando justificar, através da norma de desempenho, a escolha dos materiais, dos métodos de execução e das demais especificações. Parte-se, então, para a análise crítica e técnica final a respeito do desempenho acústico das esquadrias de alumínio em questão, para gerar conclusões sobre o atendimento ou não da construtora aos requisitos impostos pela norma de desempenho.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho proposto possui a pressuposição de que as paredes do edifício possuem constituição igual e atendem aos critérios mínimos necessários de conforto acústico impostos pela Norma de Desempenho (ABNT, 2021). Sendo assim, como limitação tem-se que os demais componentes da fachada não serão explorados de maneira aprofundada, somente será estudado o desempenho das esquadrias de alumínio. O estudo proposto limita-se a elaborar a análise acústica, crítica e técnica, de um sistema de vedação vertical, executado no condomínio, contendo um tipo de esquadria de alumínio específico, não podendo considerado para todos os tipos de esquadrias de alumínio. Trata-se de um estudo específico e, portanto, não pode ser generalizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica apresentada neste capítulo possui a proposta de expor os parâmetros necessários para a avaliação dos requisitos de desempenho acústico de esquadrias de alumínio.

2.1 CLASSE DE RUÍDO DA REGIÃO

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021), que trata de vedações verticais, define parâmetros mínimos de desempenho acústico referentes ao isolamento de meios interno e externo, entre cômodos e áreas comuns de habitações, para cada classe de ruído. As classes de ruído são definidas a partir da localização da habitação, sendo mais alta a classe de ruído para a habitação mais próxima de fontes de ruído intenso. Portanto, para Classe I tem-se habitações localizadas distantes de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas; para Classe II tem-se habitações localizadas em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III; e, por fim, para Classe III tem-se habitações sujeitas a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas (ABNT, 2021).

Sendo assim, o Manual da Associação ProAcústica Para Classe de Ruído das Edificações Habitacionais (ProAcústica, 2017), baseado nos parâmetros da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), traz informações práticas orientativas referente à definição da classe de ruído da habitação em função de localização e condição sonora no entorno. Como primeiro passo para análise do empreendimento, o Manual sugere a realização de uma avaliação preliminar do entorno, detectando a existência de ruídos do transporte rodoviário, ferroviário e aeroviário, além de bares, casas noturnas, edifícios comerciais e industriais, não limitando apenas às proximidades da divisa do lote, mas observando de maneira ampla todas as possíveis fontes que possam atuar no aumento dos níveis sonoros.

Após isso, ainda seguindo as recomendações dispostas no Manual (ProAcústica, 2017), parte-se para o estudo da implantação, considerando a topografia, a geometria e o posicionamento dos edifícios, bem como a orientação das fachadas dos dormitórios, os recuos do entorno e a utilização dos pavimentos. Esses fatores influenciam decisivamente na incidência de som nas fachadas dos dormitórios.

Partindo para a fase de medições em campo, as mesmas devem ser realizadas em ambientes normais “[...] evitando congestionamentos ou influência de ruídos esporádicos, tais como obras, latidos, sirenes, alarmes, dentre outros [...]” (ProAcústica, 2017, p. 16). A decisão sobre os locais e a duração da medição deve partir do especialista no assunto, de forma a caracterizar completamente a emissão das fontes de ruído. Em localidades próximas a rodovias, ferrovias, aeroportos, estádios ou hospitais, a realização de estudos específicos é recomendada. Para melhor caracterização das fontes de ruído, ainda, sugere-se a realização de medições acústicas sob recomendações técnicas das normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e ISO 1996-2 (ISO, 2007), e o procedimento do CETESB (CETESB, 2009).

Com os dados levantados, seguindo as orientações do Manual (ProAcústica, 2017), prossegue-se para o estudo de propagação sonora. Essa etapa é facilitada pelos *softwares* de simulação e mapeamento de ruído, os quais utilizam cálculos baseados em normas e métodos para estimar, de maneira bastante confiável, as condições de propagação de ruído nos futuros edifícios que serão construídos. Afere-se, então, “[...] os níveis equivalentes de pressão sonora incidentes nas fachadas de dormitórios da edificação, de forma a permitir a definição da Classe de Ruído.” (ProAcústica, 2017, p. 17).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) estabelece, ainda, valores adequados para o nível de pressão sonora incidente na fachada do ambiente. O maior valor de nível de pressão sonora equivalente ponderada em A ($L_{Aeq,T}$), encontrado através da simulação computacional, é utilizado para determinação da Classe de Ruído, perante a comparação desse com os valores da Tabela 1. Em paralelo a isso, é necessário consultar a legislação específica local e federal de onde está localizado o empreendimento, pois os valores legais podem ser maiores do que o valor caracterizado pela simulação computacional como nível máximo de ruído incidente na fachada. Portanto, neste caso, o nível sonoro a ser considerado para a classificação é o maior valor entre os dois mencionados. Para a cidade de Porto Alegre, no Anexo 1 do Plano Diretor, é possível encontrar informações sobre a zona de uso do empreendimento e, dessa forma, definir os níveis máximos de ruídos incidentes nas fachas, dependendo da classificação da zona localizada.

Tabela 1 - Nível de pressão sonora equivalente incidente nas fachadas da edificação para cada classe de ruído

Classe de Ruído	Nível de pressão sonora incidente na fachada (dB)
I	≤60
II	61 a 65
III	66 a 70

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

As emissões de ruído também são regulamentadas pela Resolução número 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990). Essa resolução remete a NBR 10151 (ABNT, 2000) como referência para avaliação de ruídos. Dessa forma, é possível encontrar mais um valor de referência para emissão de pressão sonora, dependendo do tipo de área habitada e as atividades da região (rural, residencial e/ou comercial).

2.2 DESEMPENHO ACÚSTICO DA ESQUADRIA E DO VIDRO

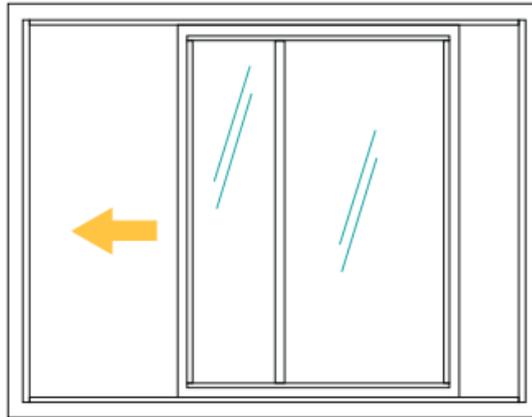
O papel das esquadrias de uma edificação está além da sua estética ou funcionalidade, mas diz respeito ao atendimento dos diversos requisitos de desempenho que devem fornecer ao usuário, tais como a iluminação, ventilação natural, estanqueidade, conforto térmico e controle acústico. Portanto, para possibilitar atingir o adequado desempenho e a durabilidade projetada (vida útil), é imprescindível que haja a fabricação, instalação e utilização correta das esquadrias, além das manutenções preventivas conforme o manual técnico do fabricante (CBIC, 2017).

O fabricante ou fornecedor deve indicar nas suas informações técnicas a durabilidade para a qual a esquadria foi projetada e quais as condições de manutenção necessárias para alcançar essa durabilidade, de acordo com os requisitos da norma de desempenho. A NBR 15575 (ABNT, 2021), estabelece vida útil mínima de 20 anos para esquadrias externas, tanto para componentes fixos e móveis quanto para elementos complementares de acabamento, como peitoris e ferragens de fechamento.

Conforme ênfase dada pelo manual de esquadrias elaborado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), é obrigatório que todas as portas e janelas feitas de alumínio, aço, madeira ou PVC, sejam originadas de fabricantes ou de projetos específicos, cumpram os requisitos de desempenho estabelecidos pelas normas técnicas. A NBR 10821 - Esquadrias Para Edificações (ABNT, 2017) apresenta informações referente à terminologia, à classificação, à instalação, aos requisitos de desempenho e aos métodos de ensaio de esquadrias.

A janela de correr, um dos objetos de estudo deste trabalho, é definida e classificada para uso interno ou externo à edificação, sendo formada por uma ou mais folhas que podem ser deslizadas horizontalmente (Figura 1).

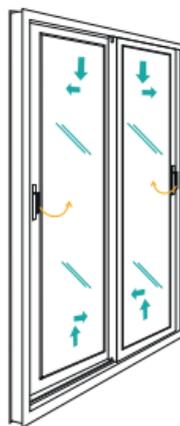
Figura 1 - Caracterização da janela de correr



Fonte: NBR 10821 (ABNT, 2017).

Já a janela alçante (Figura 2), também destinada ao uso interno ou externo e formada por duas folhas de correr, possui o diferencial de, ao fechar, comprimir o marco inferior, deixando as roldanas sem peso. Por se elevar alguns milímetros antes de correr, a esquadria possui alto grau de isolamento térmico e acústico (BEZ, 2014).

Figura 2 - Caracterização da janela alçante



Fonte: NBR 10821 (ABNT, 2017).

Em relação à esquadria de alumínio, ainda conforme a NBR 10821 (ABNT, 2017), define-se que os perfis devem ter sua superfície tratada por anodização ou pintura. A espessura

da camada anódica é definida pela NBR 12609 (ABNT, 2022), a partir do nível de agressividade do ambiente no qual a esquadria está exposta. Todo esse processo fecha os poros da esquadria com o objetivo de aumentar a resistência à corrosão pela exposição às intempéries, deixando a janela mais duradoura e com baixa necessidade de manutenção (CBIC, 2017).

Para atender aos critérios de desempenho acústico, dependendo da classe de ruído à qual está exposta, a esquadria de alumínio deve corresponder a níveis mínimos de Índice de redução sonora ponderado (R_w , em dB). Os valores estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Índice de redução sonora ponderado para esquadrias de alumínio

Desempenho	Índice de redução sonora ponderado (dB)
D	$R_w < 18$
C	$18 < R_w < 24$
B	$24 < R_w < 30$
A	$R_w > 30$

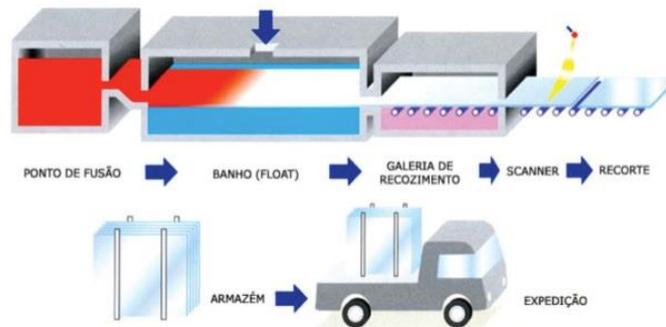
Fonte: NBR 10821 (2017).

Esse valor deve ser indicado em projeto específico, de acordo com a classe de ruído no entorno da edificação, observando as especificações da NBR 15574-4. Além disso, tem-se que as esquadrias fazem parte de um sistema completo de vedação, no qual o isolamento sonoro depende de vários parâmetros, tais como a espessura das folhas de vidro, as características dos caixilhos e, principalmente, a região de interface parede/esquadria (principal ponto de escape acústico). “Uma abertura de 1% da área total provoca uma redução da perda de transmissão (TL) de 30 dB para 19,6 dB, ou seja, uma redução de 10,4 dB.” (Gerges, 1992, p. 211). Dessa forma, é de extrema importância garantir uma boa instalação com vedação completa de todos os orifícios para não comprometer o desempenho acústico global do sistema. Conforme regulamentado pela ISO 6927 (ISO, 2021), o selante é um material aplicado localmente que apresenta propriedades de aderência e coesão para vedar uma junta, sendo utilizado em esquadrias metálicas para fixação e/ou preenchimento de frestas. Para as janelas, é essencial utilizar um selante hidrofugante capaz de resistir à exposição aos raios UV, chuva, neve e outras condições extremas.

Em relação aos vidros, tem-se o *float*, que é totalmente transparente, de superfícies polidas e paralelas, e utilizado em locais onde há a necessidade de visibilidade e transmissão de luz. É o mais simples dos vidros e constitui a matéria-prima para diversos outros produtos, podendo ser laminado, temperado, insulado etc. A produção do vidro ocorre em cinco etapas:

fusão no forno, transformação no banho, recozimento, inspeção e corte. Uma vez concluído o processo de fabricação, o vidro é transportado e enviado a distribuidores, vidraçarias ou diretamente a fabricantes de esquadrias (UFSC, 2016).

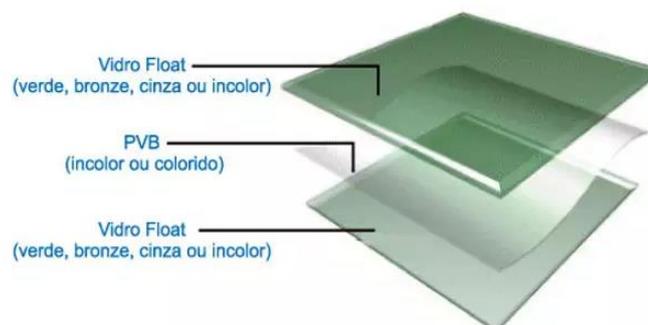
Figura 3 - Processo de fabricação do vidro *float*



Fonte: UFSC (2016).

O vidro laminado é composto por duas ou mais placas de vidro plano (oriundos do processo *float*), unidas por películas intermediárias de material plástico, denominado *polivinil butiral* (PVB), gerando resistência e segurança ao vidro (NBR 14697, ABNT, 2001). Durante a fabricação, as chapas de vidro são separadas, lavadas e montadas com a película de PVB, em uma sala com controle de temperatura e umidade. Em seguida, as chapas são encaminhadas ao primeiro forno, onde ocorre a pré-colagem entre o PVB e o vidro. Por fim, as chapas seguem para a autoclave por aproximadamente 6 horas, onde o processo de aderência é finalizado (Araújo, 2023).

Figura 4 - Caracterização do vidro laminado

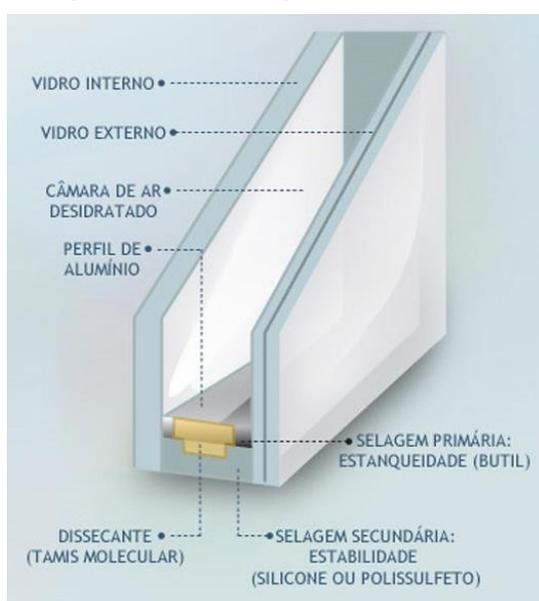


Fonte: ANAVIDRO (2013).

Outra opção bastante utilizada é o vidro insulado (Figura 5), também chamado de vidro duplo. Esse conjunto é composto por duas placas de vidro fixadas em um perfil de alumínio,

separadas por uma câmara de ar desidratado ou gases como nitrogênio ou argônio. Tal processo requer vedação especial para evitar a umidade e a formação de mofo no interior da câmara de ar. A composição dessa opção pode ser feita com qualquer tipo de vidro (*float*, laminado, temperado, entre outros), permitindo a combinação de diferentes propriedades, destacando as qualidades individuais de cada tipo. Essa solução possui, ainda, função termoacústica, oferecendo atenuação sonora e controle térmico do ambiente no qual está instalado (ABNT, 2016).

Figura 5 - Caracterização do vidro insulado



Fonte: ABRAVIDRO (2017).

Em suma, independentemente do tipo de combinação de vidros, quanto mais espessa for a camada e menor for a área do conjunto, melhor será o isolamento acústico. Verifica-se, também, que o vidro laminado possui desempenho acústico superior ao vidro *float* de espessura idêntica, pois a presença do *PVB* (com espessura de mínima de 0,38 mm de adesivo) é suficiente para reduzir a frequência de ressonância e confirmar essa alegação (Ferreira, 2010).

O nível de desempenho acústico das esquadrias completas deve ser obtido a partir de ensaio em laboratório, com corpos de prova que reproduzam fielmente o projeto, às especificações e às características construtivas destes elementos. As normas ISO 10140-2 (ISO, 2010) - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation* e ISO 717-1 (ISO, 2013) - *Acoustics - Rating of sound*

insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation prescrevem os procedimentos a serem utilizados. A NBR 15575 (ABNT, 2021) admite, ainda, a possibilidade de haver diminuição de até 5 dB na eficiência da isolamento sonora em condições reais, em comparação com os valores obtidos em testes de laboratório.

2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO APÓS INSTALAÇÃO DAS ESQUADRIAS

Com a classe de ruído já definida, os valores mínimos de desempenho exigidos para cada uma delas são apontados no item 12.3.1.2 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa de dormitórios

Classe de ruído	Localização da habitação	D _{2m,nT,w} (dB)
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30

NOTA 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.

NOTA 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, há necessidade de estudos específicos.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2021, p. 30).

O grau atenuação de ruídos para cada classe é estipulado com base na diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (*weighted standardized level difference at 2 m - D_{2m,nT,w}*). Os dormitórios das unidades habitacionais construídos devem ser avaliados a partir de um dos seguintes métodos de campo:

- a) Método de engenharia realizado em campo: descrito na ISO 140-5, caracteriza de forma direta o comportamento acústico do sistema de fachada dos edifícios multipiso, determinando, assim, o isolamento sonoro global da vedação externa (ABNT, 2021); ou
- b) Método simplificado de campo: descrito na ISO 10052, caracteriza uma estimativa do comportamento acústico do sistema de fachada dos edifícios multipiso através do isolamento sonoro global entre ambientes internos, nos quais não há instrumentação para medir o tempo de reverberação ou onde as condições não permitem obter esse

parâmetro, tornando-se, assim, um método menos preciso do que o citado anteriormente (ABNT, 2021).

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo estão apresentadas informações obtidas através do acompanhamento da execução do empreendimento estudado, possibilitando a descrição da empresa, do projeto, das edificações e das soluções adotadas para atender aos critérios mínimos de isolamento acústico.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONSTRUTORA

Este trabalho foi realizado através de informações fornecidas por uma construtora de Porto Alegre e região metropolitana que atua no mercado desde 1969 com planejamento, execução e incorporação de empreendimentos. Com o objetivo de possibilitar a realização do sonho da moradia própria, a empresa possui uma parceria com o programa do Governo Federal que facilita o financiamento e a aquisição da casa própria para pessoas de baixa renda, abrangendo o mercado em mais de 70 cidades espalhadas, por 9 estados brasileiros.

Atualmente a Construtora já possibilitou a compra da moradia própria para mais de 120 mil famílias, sendo reconhecida no mercado por seu foco na construção de apartamentos populares. A administração da empresa é separada por regiões, de acordo com a localização geográfica. Dentro da Regional Sul, o setor de engenharia define-se pelas Fábricas A e B. Cada fábrica possui suas equipes, compostas por engenheiros, analistas, mestres de obras, encarregados, estagiários, técnicos de segurança, almoxarifes e operários, que são divididos de acordo com o grupo ao qual pertencem (Infraestrutura, Estrutura, Acabamentos e Entrega). O setor administrativo é responsável pela parte de Recursos Humanos, Controle de Custos, Legalização, Suprimentos e outras tarefas fundamentais para o desenvolvimento das obras.

O sistema de produção em larga escala, atrelado ao método *Lean Construction* adotado pela empresa, exige que haja uma padronização dos processos e dos procedimentos, uma vez que há a necessidade de, assim como em um sistema industrial, garantir o fluxo contínuo de atividades diariamente, bem como da qualidade do produto final. Nesse contexto, a equipe de qualidade é responsável por realizar auditorias internas mensalmente, as quais avaliam características de cada unidade e do empreendimento como um todo, gerando um relatório de não conformidades a serem resolvidas. Além disso, com o intuito de estimular o engajamento com a qualidade e com o atendimento aos requisitos mínimos exigidos nesse sistema de alta produção, foi desenvolvido o Programa de Excelência de Fábrica (PEF), que bonifica a gestão

das obras de acordo com sua posição em um *ranking* nacional. Ainda, são realizadas auditorias internas de segurança e meio ambiente periodicamente em todas as obras da Fábrica, garantindo o cumprimento dos procedimentos de segurança dispostos nas normas, o descarte correto de resíduos e a preservação ambiental.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em estudo está localizado na Zona Norte de Porto Alegre, próximo ao Aeroporto Internacional Salgado Filho, entre duas avenidas bastante movimentadas da cidade. Além disso, aproxima-se de um posto de gasolina, duas quadras de futebol e três comércios de sucatas/peças de carros velhos.

O condomínio possui 3 torres geminadas e 2 torres isoladas de 5 pavimentos, mais 1 torre isolada de 4 pavimentos, totalizando 176 apartamentos, sendo 6 deles adaptados para portadores de necessidades especiais. Além disso, conta com 29 vagas de estacionamento, 4 bicicletários com suporte para 20 bicicletas cada, uma portaria, uma lixeira, um salão de festas, uma área para fogo de chão e piquenique, um *pet place*, uma área *fitness* externa, um *playground baby* e outro infantil, uma praça do chimarrão e uma praça de jogos.

Figura 6 - Implantação do condomínio (imagem simplificada de projeto)



Fonte: Arquivo da Construtora (2023).

3.3 MÉTODO CONSTRUTIVO DO EMPREENDIMENTO

A região Sul segue um padrão construtivo composto por torres com térreo e 4 pavimentos, denominado de T+4, com tipologia 4PP (quatro apartamentos por pavimento). Cada apartamento possui, aproximadamente, 42 m² e é dividido em sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, dois dormitórios e um banheiro, como mostra a Figura 7. Além disso, em cumprimento ao artigo 58 da Lei Brasileira de Inclusão (nº 13.146, Brasil, 2015), decreto nº 9.451 (Brasil, 2018), que informa a necessidade de que 3% das unidades térreas de um condomínio sejam adaptadas para receber moradores com deficiência física, algumas torres possuem um apartamento no térreo adaptado para idosos e pessoas com deficiência (PCD), sendo que, como diferencial arquitetônico, tem-se um único dormitório e um banheiro maior, mantendo a área total de 42m² e proporcionando acessibilidade universal (Figura 8).

Figura 7 - Planta baixa do apartamento (imagem simplificada de projeto)



Fonte: Arquivo da Construtora (2023).

Figura 8 - Planta baixa do apartamento PCD (imagem simplificada de projeto)



Fonte: Arquivo da Construtora (2023).

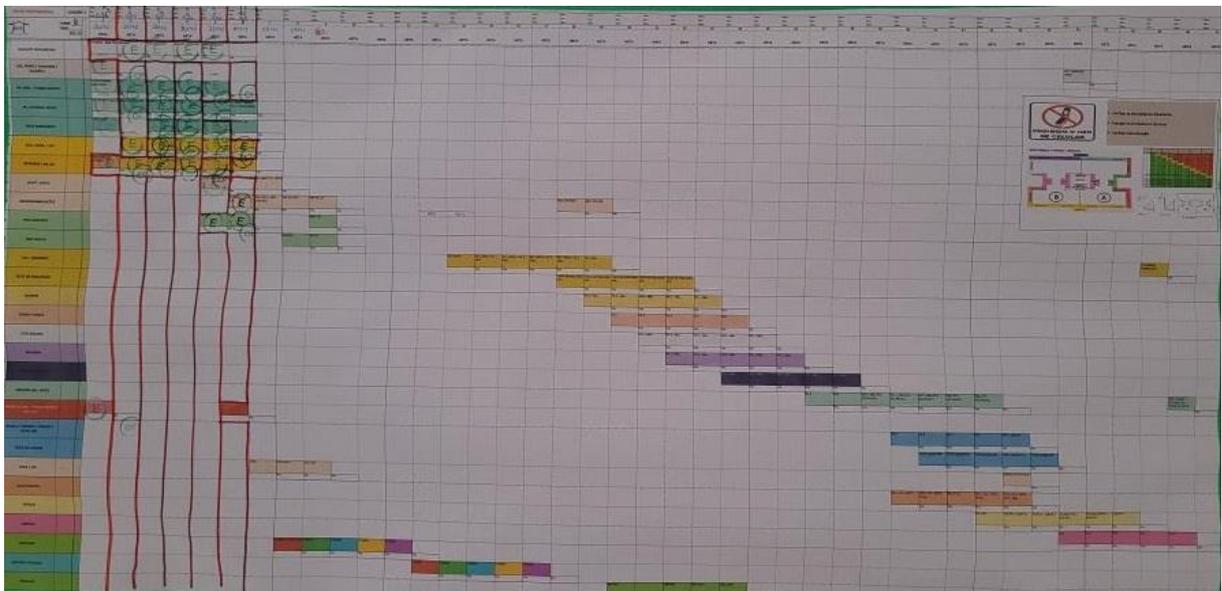
A empresa possui como método construtivo o sistema de paredes de concreto, interna e externamente, e atesta o nível de qualidade através do Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001 (ISO, 2000) e o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H, 2000). Ademais, a NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações (ABNT, 2022) define o sistema como sendo a produção de paredes de uma edificação moldadas e construídas em uma única concretagem, possuindo, após a desforma, vãos de portas e janelas, dutos embutidos para ligações elétricas e outros elementos específicos. É importante salientar que o presente trabalho não irá avaliar o desempenho acústico das paredes de concreto, partindo do pressuposto de que a construção atende aos requisitos mínimos necessários.

A Fábrica B, responsável pela construção do empreendimento em estudo, opera com dois jogos de formas metálicas, realizando concretagens de um pavimento por dia. As principais etapas presentes na execução das paredes de concreto são as de armação, montagem das instalações elétricas, montagem da forma, concretagem e desforma. Cada conjunto de forma possui um funcionário para a montagem de cada ambiente (cozinha, quartos, sala, banheiro e circulação), dois funcionários responsáveis pela montagem da plataforma e quatro funcionários responsáveis pela montagem da fachada. A equipe possui, ainda, dois armadores, dois

eletricistas e dois pedreiros, totalizando quarenta e cinco funcionários envolvido nesse processo.

Os serviços executados pela equipe de Acabamentos iniciam-se 35 dias após a concretagem do último pavimento da torre, para que haja a cura completa do concreto. Para adequar-se ao ritmo da empresa, o time de Acabamentos produz, também, um pavimento por dia. Assim sendo, todos os serviços de acabamentos em uma torre de cinco pavimentos são realizados em 41 dias, regidos por um quadro de planejamento em Linha de Balanço, o qual possui como objetivos a organização das equipes, o controle de prazos, a ampla visão das atividades e o controle de produtividade.

Figura 9 - Quadro de planejamento em Linha de Balanço

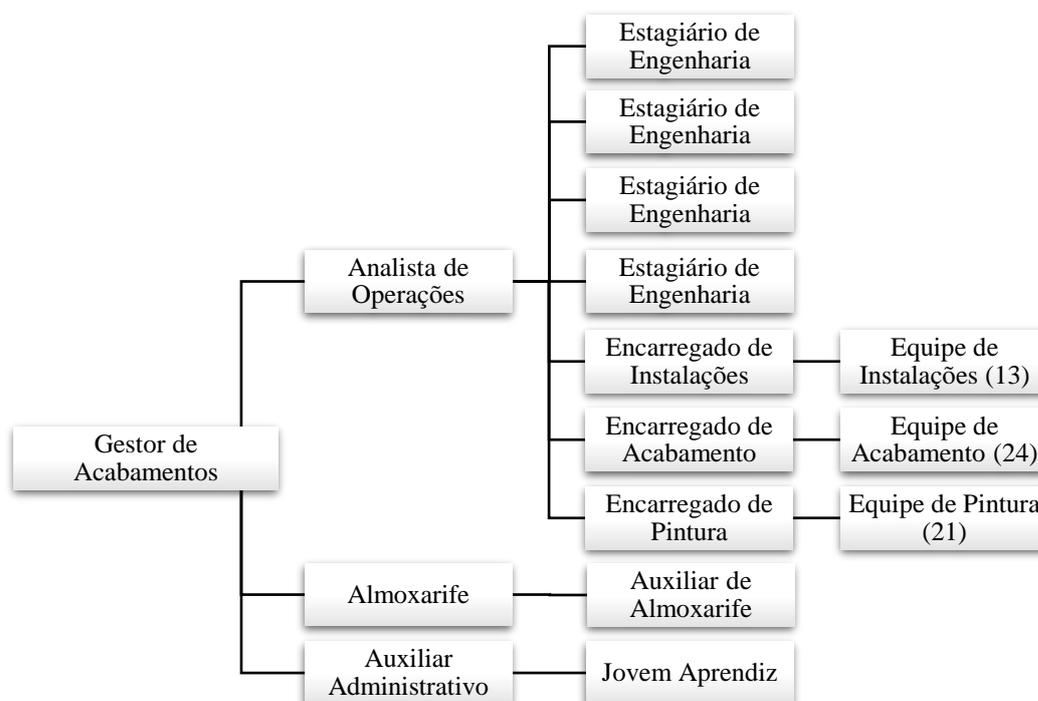


Fonte: A autora (2023).

As atividades realizadas pelos operários são fundamentadas pelas *Instruções de Trabalho (ITs)*, que descrevem os procedimentos de engenharia previstos pela empresa. A vista disso, é função do engenheiro, do analista, dos encarregados e dos estagiários conferirem, no dia da execução e no dia seguinte, se todas as metodologias estão sendo aplicadas de maneira correta e se a qualidade funcional e estética esperada está sendo cumprida. Cada atividade inspecionada possui um documento denominado *Ficha de Verificação (FV)*, o qual deve ser preenchido diariamente pelo responsável durante as conferências, a fim de mapear as não conformidades encontradas para rastrear problemas e propor correções.

O quadro técnico de Acabamentos (Figura 9) possui 29 atividades, realizadas por 58 funcionários, e é dividido em três grandes equipes: a de Instalações, responsável pela parte de água fria, esgoto, elétrica, incêndio e SPDA; a de Acabamento, responsável pela parte de esquadrias, impermeabilizações, portas, louças, cerâmica, rejunte, forro e acabamento elétrico; e a de Pintura, responsável pela parte de fachada, massa preparadora, pintura de portas, paredes, teto e, por fim, limpeza dos apartamentos. A instalação das esquadrias de alumínio, principal objeto de estudo deste trabalho, é iniciada no segundo dia do quadro, executando um pavimento por dia, começando pelo térreo, seguido dos pavimentos 4, 3, 2 e 1, totalizando 5 dias de atividades. Três colaboradores executam as atividades de regularização do vão, fixação e vedação externa da esquadria.

Figura 10 - Fluxograma da equipe técnica de Acabamentos



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4 DEFINIÇÃO DA CLASSE DE RUÍDO DA REGIÃO

Para realização do estudo da região à qual pertence o empreendimento, a Construtora contratou uma empresa especializada em projetos executivos e consultoria técnica no setor de acústica. A Empresa, fundada em 1994, atua com a construção civil em empreendimentos

residenciais, comerciais e industriais, carregando um histórico de serviços prestados em grandes empreendimentos localizados na cidade de São Paulo, tais como *shoppings centers*, hospitais, museus e auditórios. Através de uma equipe composta por profissionais experientes e especialistas no assunto, atrelada à tecnologia de última geração, realizaram-se medições de ruído e simulações que serão descritas a seguir.

O estudo em questão iniciou pela avaliação das características ambientais no entorno do terreno do futuro empreendimento para, posteriormente, estimar o impacto sonoro nas fachadas dos nove blocos residenciais do empreendimento e, por fim, determinar a classe de ruído para cada uma delas, de acordo com a norma de desempenho (NBR 15575, 2021).

Primeiramente, realizou-se uma análise nas redondezas do empreendimento, a fim de identificar as principais fontes de ruído que influenciavam nos níveis sonoros incidentes nas fachadas. A partir dessa observação prévia foram caracterizadas as principais vias próximas ao empreendimento com potencial de geração de ruído. A partir disso foram definidos, pelo especialista, os melhores locais para serem utilizados como ponto de medição, uma vez que essa decisão precisa ser bastante certa para que os dados obtidos em campo sejam capazes de representar completamente os ruídos incidentes nas fachadas em estudo.

Figura 11 - Foto de satélite com a localização dos pontos de medição



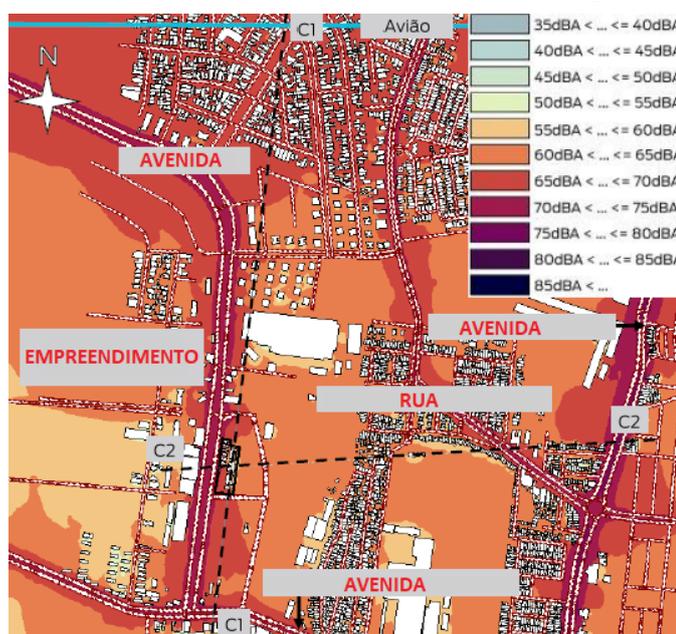
Fonte: adaptado de *Google Earth* (2021).

O estudo foi realizado entre o final do ano de 2020 e o início de 2021, em meio à pandemia da COVID-19, caracterizada pela Organização Mundial da Saúde. Dessa forma, para

não expor sua equipe a riscos em função do deslocamento entre cidades através de aeroportos, a Empresa precisou modificar sua técnica. Portanto, os dados referentes à emissão de ruído nos pontos de medição do empreendimento em estudo não puderam ser coletados em campo, mas sim estimados através de um extenso e completo banco de dados que a Empresa possuía, em razão das inúmeras coletas que já haviam sido feitas na região. Questões como a quantidade de faixas, tráfego de ônibus/caminhões, tipo de pavimento, velocidade e projeções futuras, como uma possível operação de alargamento da via, são características que influenciaram na definição dos níveis de decibéis estimados em cada local. A Avenida que teve maior influência quanto a incidência de ruído nas fachadas foi a que está localizada a aproximadamente 70 metros do empreendimento, com um nível de potência sonora considerado como 82 dB. Esse método possui mais incertezas do que o método convencional, medido em campo, porém foi a alternativa encontrada perante a situação de adversidade que estávamos todos vivendo no Brasil e no mundo.

Com os valores definidos, partiu-se para a etapa de inseri-los no *software* de prognóstico de perturbação sonora ao ar livre. O *CadnaA*, *software* utilizado pela Empresa, é responsável por calcular e apresentar previsões de emissão de ruídos de rodovias, aeroportos e áreas urbanizadas. Os resultados da simulação são apresentados nas Figuras 12 a 18:

Figura 12 - Mapa da propagação de ruído no entorno do empreendimento



Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 13 - Corte C1 mostrando os níveis de pressão sonora na região



Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 14 - Corte C2 mostrando os níveis de pressão sonora na região



Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 15 - Perspectiva 1 da simulação mostrando os níveis de ruído incidentes nas fachadas Norte e Oeste



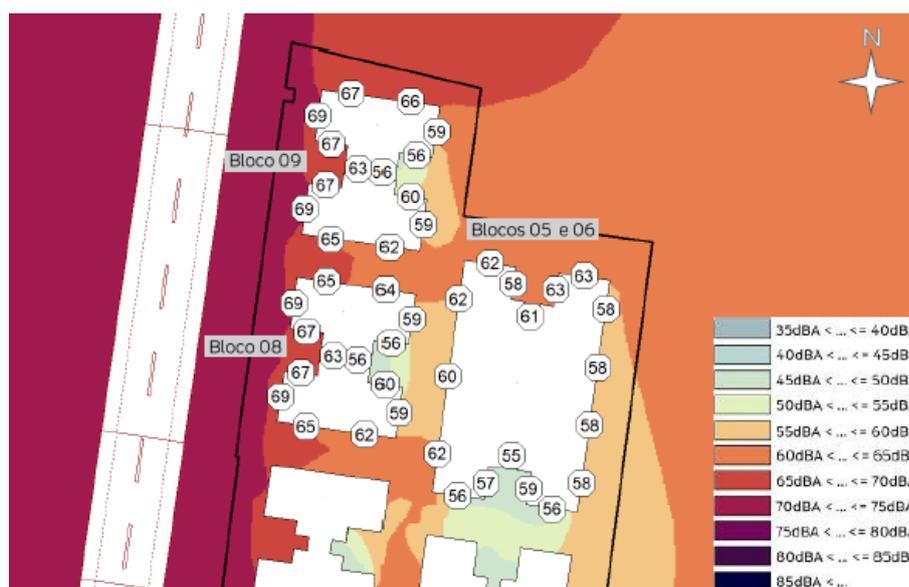
Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 16 - Perspectiva 2 da simulação mostrando os níveis de ruído incidentes nas fachadas Sul e Leste



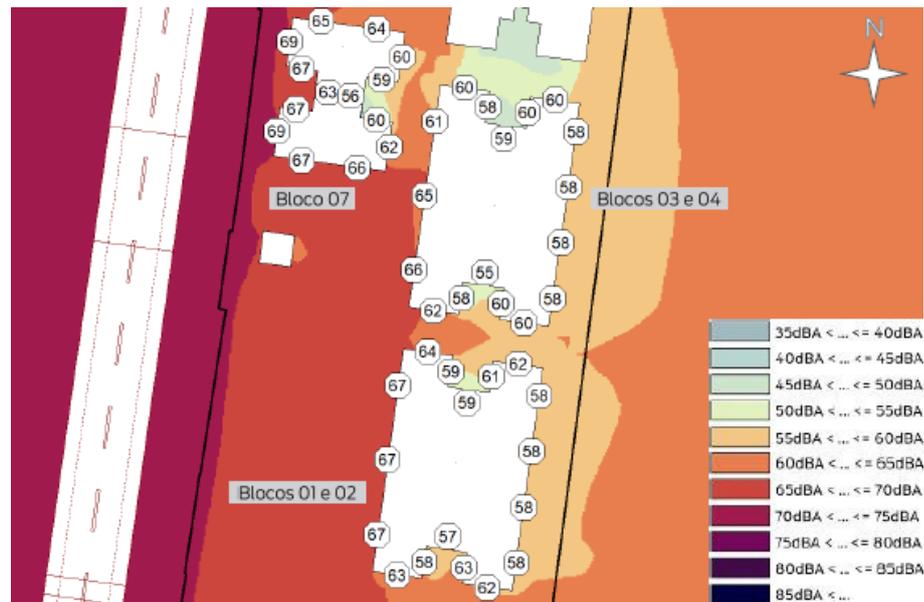
Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 17 - Planta com os níveis de pressão sonora incidentes nas fachadas dos blocos ao Norte



Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Figura 18 - Planta com os níveis de pressão sonora incidentes na fachada dos blocos à Sul



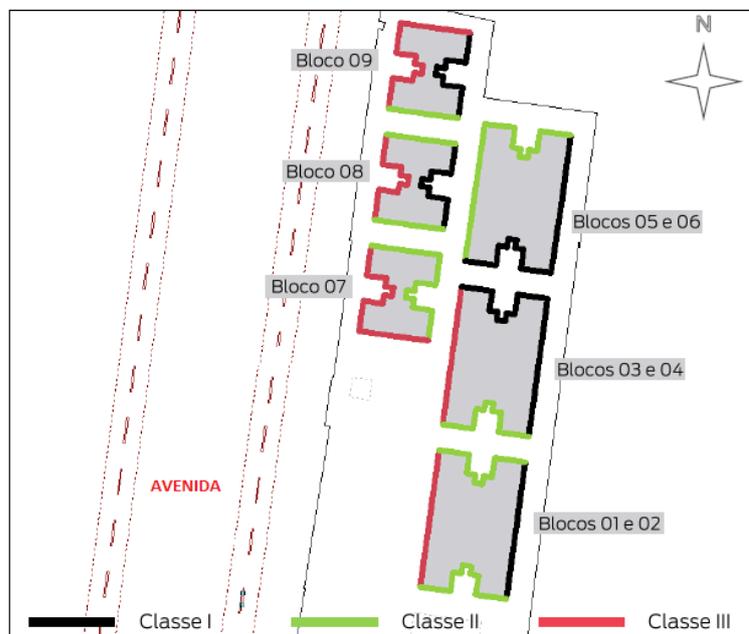
Fonte: Relatório da Empresa de consultoria acústica (2021).

Além disso, segundo o Anexo I do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental da cidade de Porto Alegre (Porto Alegre, 2010), o qual apresenta o mapa do zoneamento de uso por subunidade, o empreendimento está localizado em uma “Zona Mista - 2”. De acordo ainda com o Plano Diretor (Porto Alegre, 2010), o Art. 32 define o local em questão como “[...] zonas de maior diversidade urbana em relação às áreas predominantemente residenciais onde se estimule, principalmente, o comércio varejista, a prestação de serviços e demais atividades compatíveis [...]”. Para locais tais como esse onde o empreendimento está inserido, possuindo residências e atividades comerciais, o Art. 17, Decreto 8185, regulamentado pela Lei Complementar nº 65 (Porto Alegre, 1983), define como 55 dB o nível de ruído permitido para o período diurno. E, por último, a resolução do Conama, define como 60 dB o nível de ruído em período diurno para “Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas.”.

Completadas todas essas etapas, chegou-se à conclusão de que os maiores valores encontrados são os obtidos através do *software* de simulação e, portanto, foram considerados como o pior caso para seguir com as próximas definições. Por fim, comparou-se os valores de emissão de ruído incidente nas fachadas com os valores referências da norma (dispostos na Tabela 1 desse trabalho) e obtiveram as Classes de Ruído do empreendimento (Figura 19). É possível observar a classe de ruído III estabelecida para as fachadas voltadas à via principal, a

classe de ruído II estabelecida para as fachadas entre blocos do empreendimento e, por fim, a classe de ruído I estabelecida para as fachadas opostas à via principal.

Figura 19 - Classes de Ruído determinadas para as fachadas do Empreendimento

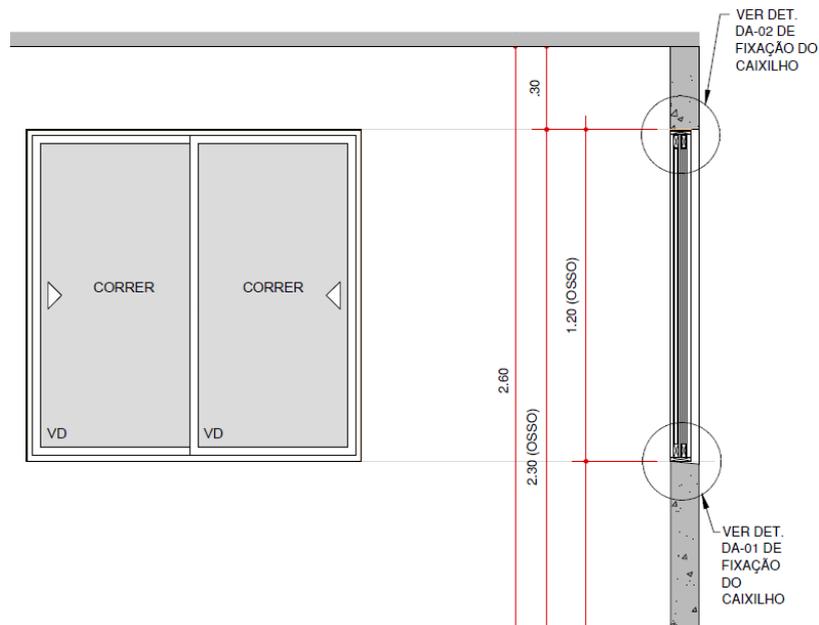


Fonte: Relatório realizado pela Empresa de consultoria acústica (2021).

3.5 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESQUADRIAS E DOS VIDROS

Com a classe de ruído definida e os critérios das normas regulamentadoras conhecidos, o projetista responsável definiu dois tipos de esquadria diferentes para os dormitórios do empreendimento. No primeiro caso, onde as fachadas foram definidas com as classes I e II de ruído, especificou-se uma janela com duas folhas de correr de alumínio, com acabamento anodizado natural e vidro *float* com espessura de 3 mm (Figura 20).

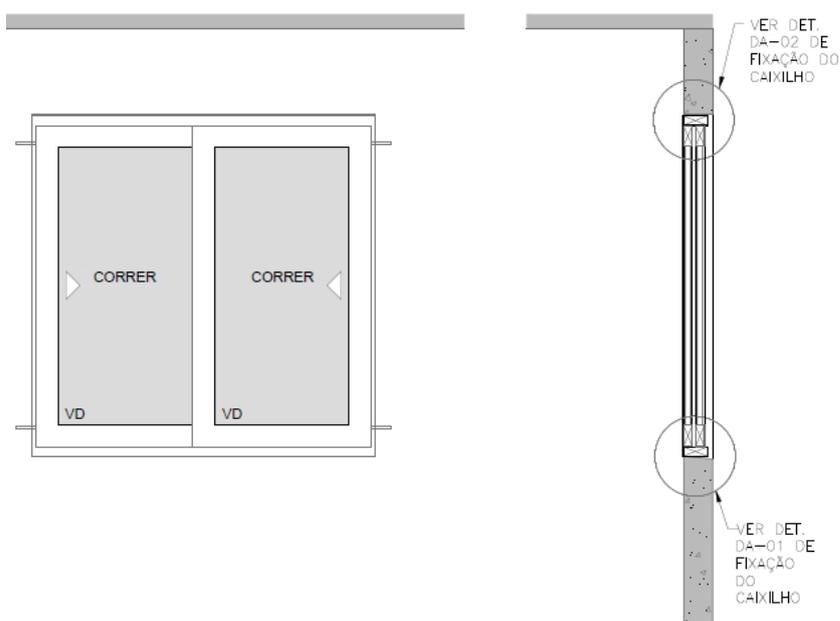
Figura 20 - Projeto da esquadria de correr de alumínio com vidro *float*



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

Já para as fachadas onde a classe de ruído determinada é a III, especificou-se janela alçante de alumínio, com acabamento anodizado natural, e vidro liso incolor laminado de espessura 6 mm. Como consequência do aumento da espessura do vidro, o caixilho de alumínio precisou ser adaptado, sendo mais espesso em comparação ao descrito anteriormente, causando, assim, uma certa contribuição no aumento do desempenho acústico do sistema, além da contribuição reforçada com o uso da janela do tipo alçante.

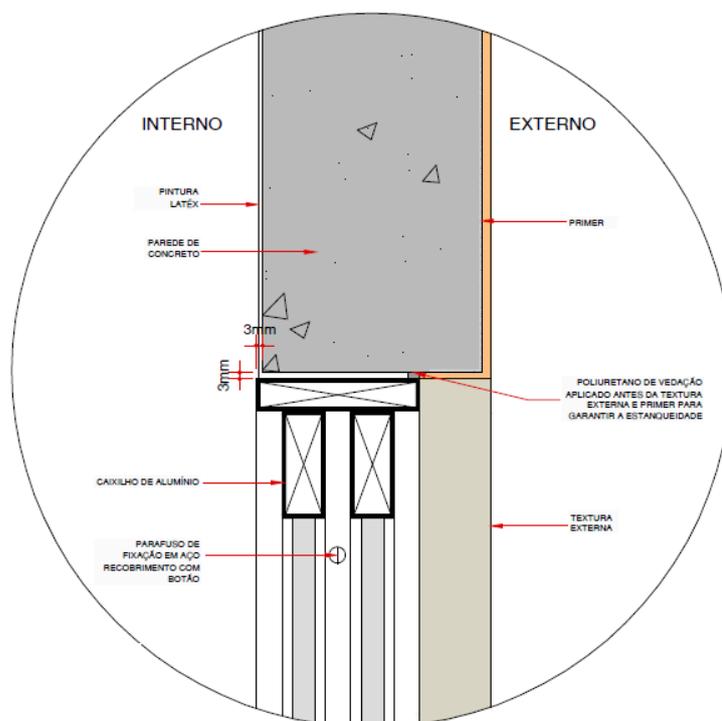
Figura 21 - Projeto da esquadria alçante de alumínio com vidro laminado



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

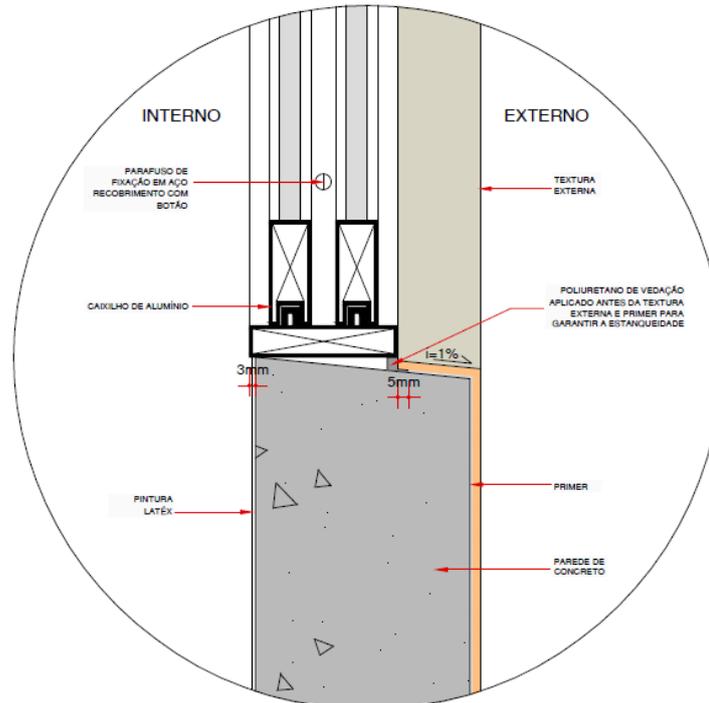
Nas Figuras 22 e 23 estão os detalhes de fixação dos caixilhos, que são idênticos para ambas as janelas.

Figura 22 - Detalhe da fixação superior da esquadria



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

Figura 23 - Detalhe da fixação inferior da esquadria



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

Por conseguinte, a equipe responsável pela compra de materiais entrou em contato com o fornecedor de esquadrias e, a partir de um catálogo disponibilizado, escolheu as duas mais adequadas, capazes de atender aos critérios de projeto. As esquadrias foram devidamente ensaiadas quanto ao desempenho acústico, sendo a responsabilidade do fabricante a veracidade e garantia dos resultados apresentados.

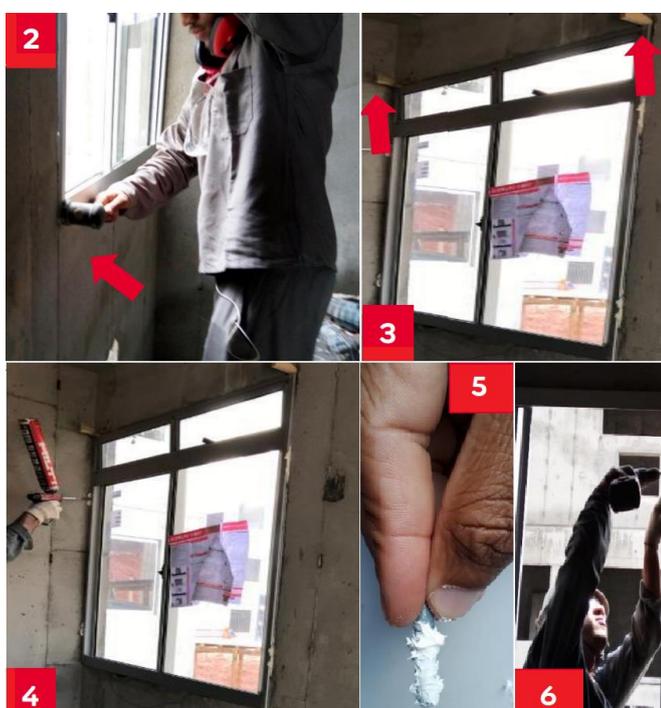
Ademais, para contribuir com todo esse processo, a Construtora elaborou um documento específico, a partir dos dados do fabricante, para orientar seus colaboradores quanto à instalação das esquadrias de alumínio de forma prática, através de um passo a passo, com texto de fácil compreensão e diversas imagens ilustrativas. Conforme orientações, o primeiro passo é assegurar que a superfície de instalação das esquadrias esteja limpa, seca, livre de pó, elementos soltos e gordura, além de conferir as dimensões dos vãos para garantir que estão corretos antes da instalação (Figura 24, 2).

No momento da fixação, sugere-se que sejam utilizadas cunhas de madeira em caso de folga entre a esquadria e o vão (Figura 24, 3), além da utilização de limitador de profundidade (tarucel) e massa niveladora (Figura 24, 4) nos pontos de folgas excessivas não corrigidas com as cunhas. Também pode ser utilizada espuma expansiva para garantir melhor ajuste, alinhamento e integridade das esquadrias e vidros. No entanto, essa solução proposta pela

empresa acaba prejudicando, consideravelmente, o desempenho acústico da esquadria, uma vez que o ideal é não haver folga entre a esquadria e o vão ao invés de apenas fechá-la com materiais que não possuem desempenho acústico satisfatório e comprovado.

Após isso, recomenda-se ensopar as buchas com Poliuretano (PU) (Figura 24, 5) e parafusar a esquadria nos quatro pontos perforados (Figura 24, 6), seguindo uma sequência diagonal, cuidando para não provocar a quebra da parede, amassos ou desalinhamento no perfil metálico. O operador deve se atentar, inclusive, para não deixar a janela abalada devido o aperto excessivo. Em etapa posterior, realizar a vedação externa para garantir a estanqueidade do sistema.

Figura 24 - Procedimento de instalação das esquadrias



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

A equipe responsável pelos projetos da empresa disponibiliza, ainda, uma tabela de esquadrias com sua descrição completa, como forma de auxiliar a equipe no momento da compra do componente.

Quadro 1 - Tabela de esquadrias

TABELA DE ESQUADRIAS						
CODIGO	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO (VAO OSSO)	AMBIENTE			
CA 14	02 FOLHAS DE CORRER EM VIDRO. Rw MINIMO DO CAIXILHO DOS DORMITORIOS PARA CADA CLASSE DE RUIDO DO EMPREENDIMENTO	1.40x1.20m PEITORIL 1.10m	DORMITORIO 01			
	<table border="0"> <tr> <td>CLASSE I Rw=15dB</td> <td>CLASSE II Rw=19dB</td> <td>CLASSE III Rw=24dB</td> </tr> </table>	CLASSE I Rw=15dB	CLASSE II Rw=19dB	CLASSE III Rw=24dB		
CLASSE I Rw=15dB	CLASSE II Rw=19dB	CLASSE III Rw=24dB				
CA 12	02 FOLHAS DE CORRER EM VIDRO. Rw MINIMO DO CAIXILHO DOS DORMITORIOS PARA CADA CLASSE DE RUIDO DO EMPREENDIMENTO	1.20x1.20m PEITORIL 1.10m	DORMITORIO 02			
	<table border="0"> <tr> <td>CLASSE I Rw=15dB</td> <td>CLASSE II Rw=19dB</td> <td>CLASSE III Rw=24dB</td> </tr> </table>	CLASSE I Rw=15dB	CLASSE II Rw=19dB	CLASSE III Rw=24dB		
CLASSE I Rw=15dB	CLASSE II Rw=19dB	CLASSE III Rw=24dB				
NOTAS: 1- O CAIXILHO DEVE SER COMPRADO DE ACORDO COM O RW NECESSARIO PARA CADA CLASSE DE RUIDO DO EMPREENDIMENTO 2- PARA CLASSE DE RUIDO ESPECIAL, DEVE SER FEITO O ESTUDO ESPECIFICO PARA O EMPREENDIMENTO E PARA DEFINIÇÃO DO RW NECESSARIO PARA ATENDIMENTO 3- PARA PERFIS, ESPESSURA E TIPO DOS VIDROS O FORNECEDOR DEVERA ATENDER AOS REQUISITOS MINIMOS EXIGIDOS EM NORMA. 4- O RW DO CAIXILHO DEVE SER CONFIRMADO PELO FORNECEDOR ATRAVES DE LAUDO. 5- FORNECEDORES DEVEM SE HOMOLOGADOS 6- VER CADERNO DE DETALHES BR4.0						

Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

Para confirmar o índice de redução sonora ponderado (Rw), um teste de laboratório foi realizado com as duas esquadrias, sendo a instalação das amostras de responsabilidade da Construtora. Uma câmara de ar foi utilizada na interface entre o pórtilco de concreto e a câmara acústica, de modo que o resultado seja especificamente relacionado ao sistema de vedação proposto. A amostra foi instalada em uma parede feita de tijolo cerâmico maciço de 90 x 90 x 195 mm, sem função estrutural, com um revestimento de 1 cm de espessura feito com argamassa industrializada convencional.

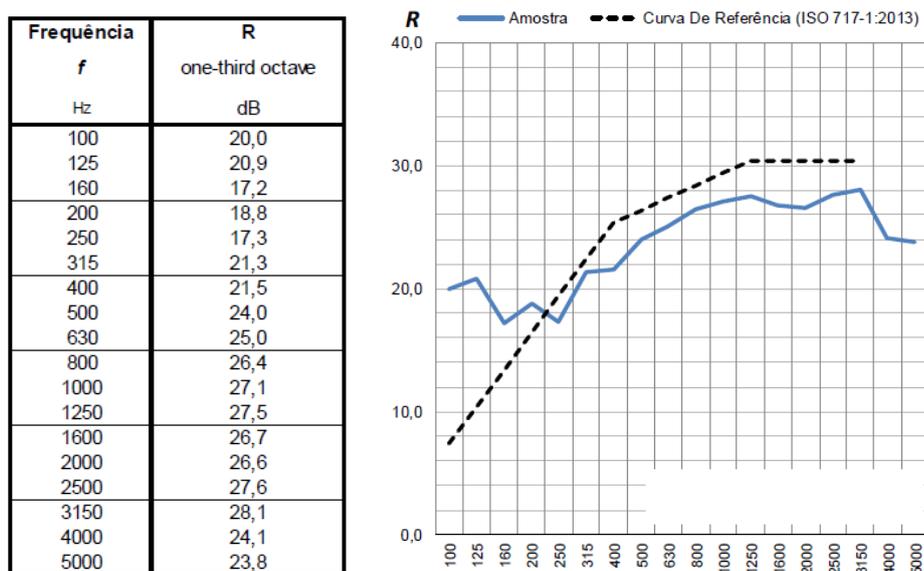
Figura 25 - Teste de ruído das esquadrias



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

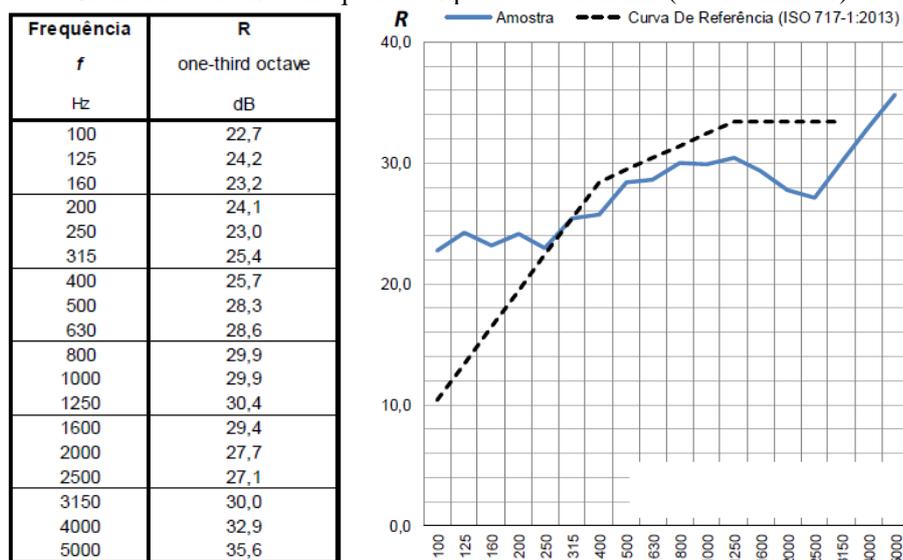
A seguir, apresentam-se os Gráficos 1 e 2 com o índice de redução sonora da esquadria de correr com vidro *float* 3 mm e da esquadria alçante com vidro laminado 3+3 mm, respectivamente, para cada faixa de frequência. Além disso, os valores consideraram as características da câmara acústica, a umidade relativa do ar e a temperatura durante o ensaio. Com base nos valores obtidos em cada frequência analisada, é possível calcular o índice de redução sonora ponderado (R_w) e comparar a curva gerada com a curva padrão.

Gráfico 1 - Níveis de frequência esquadria de alumínio (vidro *float*)



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

Gráfico 2 - Níveis de frequência esquadria de alumínio (vidro laminado)



Fonte: Arquivo da Construtora (2021).

As amostras analisadas apresentaram índice de redução sonora ponderado de 26 dB para a esquadria de alumínio de correr com vidro *float* 3 mm e 29 dB para a esquadria de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm. A diferença padronizada de nível foi calculada pelo laboratório de acordo com a ISO 10140-2 (ISO, 2010).

3.6 TESTES DE RUÍDO REALIZADOS EM CAMPO

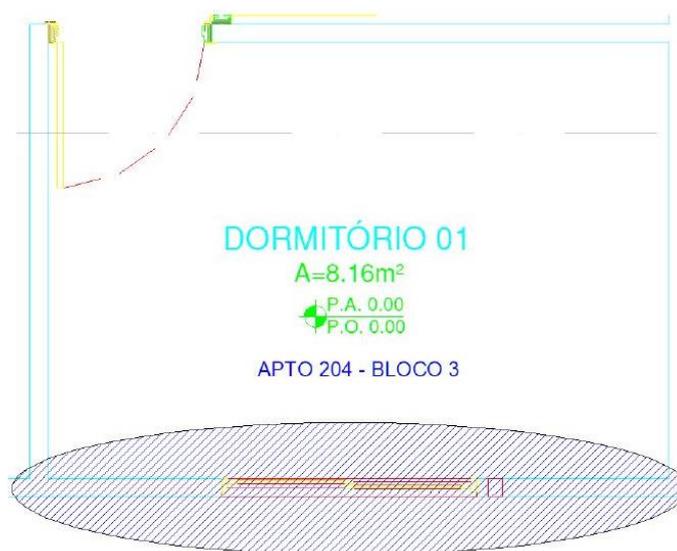
Com as esquadrias instaladas, a Construtora contratou um Laboratório de Controle Tecnológico especializado em projetos acústicos e ensaios de desempenho para realizar os testes necessários na obra. Foram realizadas, portanto, medições de desempenho acústico frente ao ruído aéreo no sistema de vedação vertical externo do empreendimento, em abril de 2023. O procedimento levou, aproximadamente, duas horas e seguiu os critérios da ISO 16283-2, utilizando o Método de Engenharia.

A metodologia de medição foi através da emissão de ruído na área externa, com uma fonte omnidirecional, formando um ângulo de 45° com a fachada, e medição dos níveis de pressão sonora em bandas de terço de oitava (de 100 Hz a 3150 Hz) na área externa, a uma distância de 2 metros da janela, e no interior do dormitório (receptor). A diferença entre os níveis, com uma correção segundo as condições acústicas do recinto receptor (obtidas através do tempo de reverberação), resultaram na diferença de níveis padronizada ($D_{2m,nT}$), que é o valor comparável com os níveis de desempenho da NBR 15575-4 (ABNT, 2021). A seguir, observa-se a lista de instrumentos utilizados, todos devidamente calibrados e certificados:

- a) Medidor de nível de pressão sonora marca *Brüel & Kjaer*, modelo 2270 – Classe 1;
- b) Calibrador acústico marca *Brüel & Kjaer*, modelo 4231 – Classe 1;
- c) Microfone marca *Brüel & Kjaer*, modelo 4189;
- d) Amplificador de potência marca *Brüel & Kjaer*, modelo 2734;
- e) Fonte sonora omnidirecional marca *Brüel & Kjaer*, modelo 4292;
- f) Software *Qualifier Type 7830* marca *Brüel & Kjaer*, versão 2.18.6.

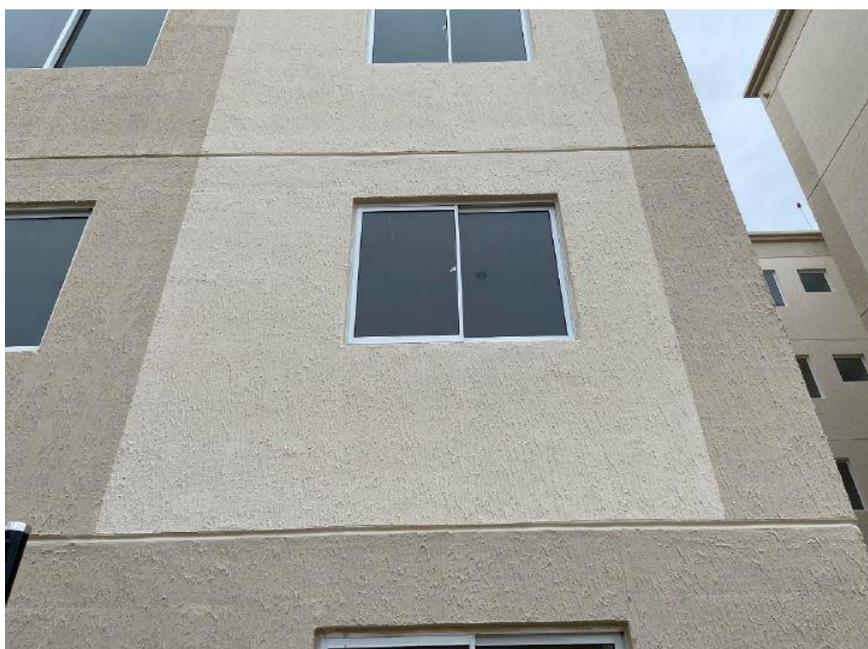
O primeiro ensaio foi realizado no dormitório 1 do bloco 3, o qual possui classe de ruído III definida para sua fachada (Oeste) e esquadrias de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm (Figuras 26 e 27).

Figura 26 - Planta do dormitório onde foram realizadas as medições, evidenciando a fachada ensaiada



Fonte: Relatório do Laboratório de Controle Tecnológico (2023).

Figura 27 - Fachada onde foi realizado o ensaio



Fonte: Relatório do Laboratório de Controle Tecnológico (2023).

Durante o período das medições foi utilizado protetor de vento no microfone posicionado externamente e o ambiente receptor estava com todas as portas e janelas fechadas.

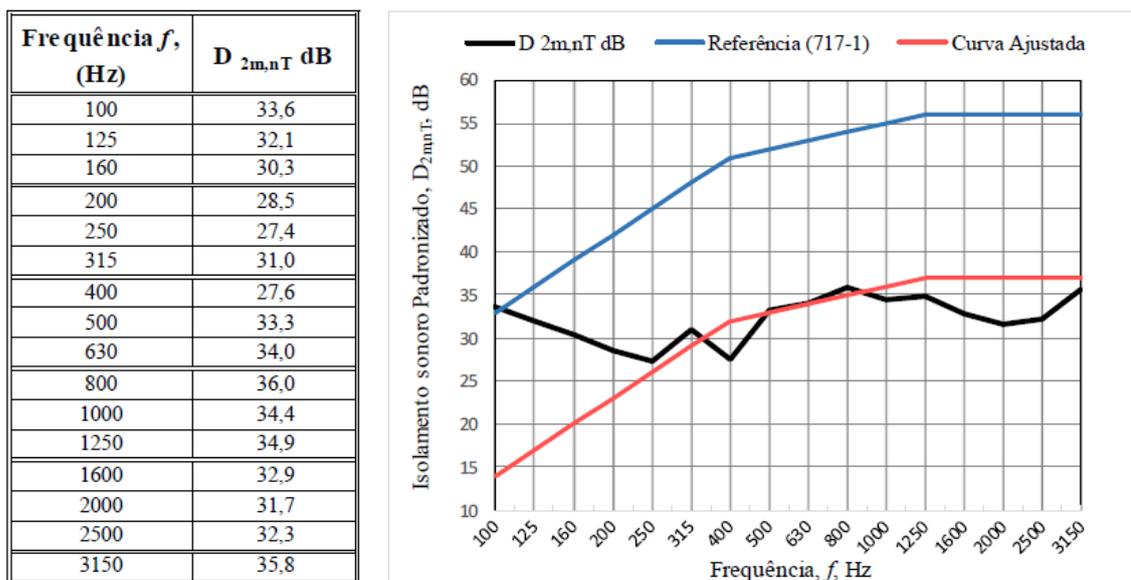
Figura 28 - Vista interna da fachada do dormitório avaliado



Fonte: Relatório do Laboratório de Controle Tecnológico (2023).

O Gráfico 3 apresenta os valores de diferença padronizada de nível para cada faixa de frequência por banda de terço de oitava, medidos a 2m da fachada. Como conclusão, o valor obtido de atenuação de ruído sonoro foi de 33 dB.

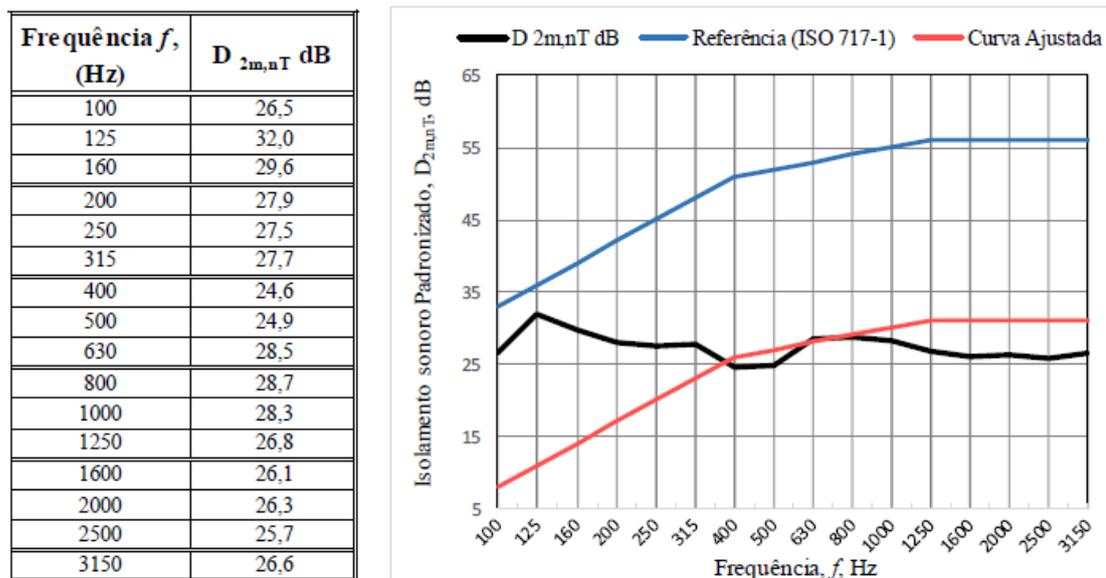
Gráfico 3 - Valores de diferença de nível para janela alçante (vidro laminado)



Fonte: Relatório do Laboratório de Controle Tecnológico (2023).

Para as fachadas nas quais as classes de ruído foram definidas como I e II, onde foram utilizadas a esquadria de alumínio de correr com vidro *float* 3 mm, o ensaio foi realizado no dormitório 2 do apartamento 201, do bloco 3, da mesma maneira como descrito anteriormente, obtendo um resultado de atenuação de ruído sonoro de 27 dB (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Valores de diferença de nível para janela de correr (vidro *float*)



Fonte: Relatório do Laboratório de Controle Tecnológico (2023).

4 ANÁLISE CRÍTICA DA SOLUÇÃO ESTUDADA

Este capítulo possui o objetivo de reunir as informações abordadas até o momento e, a partir disso, averiguar as soluções adotadas.

4.1 ESCOLHA DAS ESQUADRIAS E DOS VIDROS

A especificação de projeto para a utilização de janelas de alumínio para todos os cômodos das unidades do empreendimento se dá, principalmente, pela durabilidade do material, uma vez que há a exigência por norma desempenho (NBR 15575-1, ABNT, 2021) de que as mesmas possuam vida útil mínima de 20 anos. O alumínio, intrinsecamente, trata-se de um material resistente à corrosão, contudo, a exigência da NBR 10821-2 (2017) para a realização de anodização contribui ainda mais para a durabilidade do material. Outro aspecto importante é em relação a leveza do alumínio e conseqüente praticidade de transporte e instalação das janelas. Por traçar metas diárias, as quais exigem esforço, rapidez e agilidade dos funcionários, utilizar um produto mais leve é uma forma da Construtora promover condições de facilitar a rápida instalação das janelas, possibilitando a conquista diária dos objetivos da companhia.

Ademais, a janela de correr e a janela alçante, ambas especificadas em projeto, tem como vantagem a facilidade de instalação e manutenção. Por possuírem poucos componentes, tendem a não gerar muitos problemas durante a utilização, característica interessante à Construtora, visto à baixa procura por assistência técnica desse componente após a entrega do empreendimento até o atual momento. Outro benefício é o alto grau de abertura da janela, o qual permite boa ventilação interior sem ocupar espaço, uma vez que os cômodos possuem área reduzida em função do tamanho do apartamento. Além disso, possuem custo/benefício satisfatório em relação às janelas de abrir, fato esse que também contribui com os objetivos da companhia.

A escolha do vidro *float* 3 mm e do vidro laminado 3+3 mm foram as soluções mais econômicas encontradas pela Construtora para atender aos critérios das diversas normas de desempenho envolvidas em todo esse processo, as quais devem ser seguidas para atingir o conforto acústico necessário para a entrega da moradia aos usuários.

4.2 ESQUADRIAS ENSAIADAS EM LABORATÓRIO

Respeitando os princípios de verificação da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), a Construtora realizou a medição do Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) dos dois diferentes tipos de esquadria utilizados no empreendimento, parâmetro esse que atesta o desempenho acústico de componentes em laboratório.

Conforme descrito no capítulo 3.5 deste trabalho, a instalação das amostras analisadas em laboratório foi de responsabilidade da Construtora. As características do ambiente, tais como a câmara acústica, a umidade relativa do ar e a temperatura no momento do ensaio, foram totalmente controladas de modo que o resultado obtido foi alusivo somente ao sistema de vedação proposto. As verificações resultaram em 26 e 29 dB, para a amostra com vidro *float* 3 mm e para a amostra com vidro laminado 3+3 mm, respectivamente.

Esses valores (Tabela 4), quando comparados com a Tabela 2 (Índice de redução sonora ponderado para esquadrias de alumínio), enquadram-se dentro da faixa de desempenho B, a qual possui R_w de 24 a 30 dB, perdendo apenas para a faixa A, a qual possui desempenho maior do que 30 dB. Além disso, se comparados à tabela de esquadrias disponibilizada pelo projetista responsável pelo empreendimento (Quadro 1), ambas as janelas atenderiam à classe de ruído III ($R_w = 24$ dB). No entanto, é importante salientar que os resultados obtidos em laboratório são mais controlados do que os obtidos em campo, uma vez que a instalação da esquadria é um processo totalmente manual e dependente da capacitação da mão de obra que está executando a atividade, além das falhas que o vão e os demais componentes podem apresentar. Além disso, o ensaio em laboratório foi realizado com outro tipo de vedação (bloco cerâmico com revestimento de argamassa), diferente do executado na edificação (concreto estrutural), características que irão influenciar no desempenho do sistema como um todo.

Tabela 4 - Comparativo entre ensaio de laboratório e dados teóricos

Esquadria	R_w obtido no ensaio de laboratório	Faixa de desempenho conforme NBR 10821 (2017)	Classe de ruído conforme projetista
De correr com vidro <i>float</i> 3 mm	26 dB	B	III
Alçante com vidro laminado 3+3 mm	29 dB	B	III

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3 ESQUADRIAS ENSAIADAS EM CAMPO

Os ensaios de campo possuem grande relevância no setor da construção civil, uma vez que são capazes de identificar parâmetros que atestam desde a qualidade do produto utilizado até o método de instalação e as falhas do processo como um todo. Em relação ao ensaio acústico realizado antes da entrega do empreendimento, o mesmo apresenta o resultado de todo o sistema de vedação vertical, levando em consideração as reais condições existentes, atrelando o entendimento prévio disposto no projeto de esquadrias à verificação da capacidade de isolamento acústico dos elementos da construção por meio do ensaio em condições reais.

Conforme descrito no capítulo 3.6 deste trabalho, foram realizadas medições de desempenho acústico no sistema de vedação vertical externo (ruído aéreo) nos dormitórios do empreendimento tanto em unidades expostas à classe de ruído III (esquadrias de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm) quanto em unidades expostas às classes de ruído I e II (esquadrias de alumínio de correr com vidro *float* 3 mm). Os resultados obtidos foram, respectivamente, 33 dB e 27 dB.

Se comparados à Tabela 3 (Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa de dormitórios), é possível observar que a janela de alumínio de correr com vidro *float* 3 mm atende às classes I e II de ruído, os quais requisitam $D_{2m,nT,w}$ maiores que 20 dB e 25 dB, respectivamente. Já a janela de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm atende à classe de ruído III, a qual necessita $D_{2m,nT,w}$ maior do que 30 dB. Com isso, é possível observar que ambos os resultados atendem ao esperado, evidenciando a eficiência da solução proposta pela Construtora.

4.4 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO

O planejamento e o controle de custos da obra é um elemento que possui grande importância na gestão diária do engenheiro civil. O método *Lean Construction*, por sua vez, possui como um dos seus pilares a eliminação de desperdícios em todas as fases da obra, tanto de tempo e de material quanto de recursos financeiros. Dessa forma, fica ainda mais nítida a necessidade de um gerenciamento eficiente do capital disponibilizado para execução dos empreendimentos, especialmente em construções populares que são vendidas por valores reduzidos e, ainda assim, precisam oferecer lucro às construtoras.

Dessa forma, por mais que as melhorias sejam necessárias elas precisam ser cautelosas e estudadas para que não extrapolem a utilização de recursos financeiros do empreendimento como um todo. Em relação às duas janelas abordadas até o momento, a mais simples, de alumínio de correr com vidro *float* 3mm, habitualmente utilizada nos condomínios entregues e comprada em lotes de grandes quantidades com valor reduzido, possui boa capacidade acústica, porém não suficiente para atender à classe de ruído III.

Em vista disso, tornou-se necessário o refinamento da esquadria utilizada para atendimento das normas regulamentadoras, impondo uma profunda análise acústica por parte da Construtora. Por fim, a decisão tomada pela utilização da janela de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm acrescentou apenas 0,62% no custo de implementação da unidade (apartamento), valor consideravelmente baixo visto a melhoria e conforto disponibilizados ao usuário, facilitando, inclusive, a venda dos apartamentos próximos à avenida.

4.5 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Um dos principais pontos analisados trata-se da importância das normas de desempenho, as quais são responsáveis por determinar diretrizes mínimas referentes à construção, eficiência, manutenção e vida útil de qualquer edificação habitacional. Exigindo padrões de qualidade das construtoras, elas possuem importância significativa e são indispensáveis para a defesa dos usuários, os quais, na maioria das vezes, adquirem seus imóveis sem possuir conhecimentos específicos de engenharia.

Além disso, o desenvolvimento de um bom projeto de esquadrias a partir de estudos embasados por normas e ensaios de desempenho, resultando em especificações completas e claras, contribuem significativamente e positivamente com a qualidade do produto entregue. Salienta-se, ainda, sobre a importância de exigir dos fornecedores todos os laudos técnicos que comprovem as características exigidas das janelas, para garantir que as determinações de projeto estão sendo colocadas em prática.

Grande parte do desempenho acústico das esquadrias deve-se, inclusive, ao método de instalação, o qual deve ser muito bem analisado e padronizado pelas construtoras, através da promoção de treinamentos e reciclagem de tempos em tempos destinados aos responsáveis pela instalação e conferência das janelas. Quanto a isso, sugere-se, principalmente, que os vãos sejam regularizados e preenchidos completamente antes da instalação das janelas, para que não

ocorram possíveis aberturas causadoras de escapes sonoros. Ademais, é dever da Construtora orientar os usuários, conforme instruções do fabricante, sobre a necessidade de manutenção preventiva para que os componentes entreguem o desempenho e a vida útil esperada e planejada.

Outrossim, existem no mercado outras opções de janelas, como as janelas de vidro insulado (composto por duas placas de vidro separadas por câmara de ar, fixadas em um perfil de alumínio) que possuem melhores índices de redução de ruído, no qual o conjunto comporta-se como se fosse duas massas separadas por uma mola que auxilia na absorção dos ruídos (Ferreira, 2010). De acordo com Bento, Foiato e Carelli (2021), o vidro insulado composto por um vidro *float* 4mm + câmara de ar 12mm + laminado 3+3mm apresentou melhores resultados entre diversos vidros ensaiados nas mesmas circunstâncias, atestando que a massa do conjunto é diretamente proporcional ao seu desempenho acústico. A janela de correr com esse conjunto de vidros resultou em uma média logarítmica do nível de pressão sonora interna de 49 dB, atingindo não apenas o desempenho mínimo, mas superior, tanto no quesito acústico quanto no quesito térmico.

Assim sendo, essa pode ser uma possível solução a ser explorada pela Construtora, uma vez que testess apontam a eficiência do sistema. Sugere-se que sejam feitos estudos aprofundados sobre o tema e, ainda, pesquisas de mercado para avaliar o custo-benefício e a possibilidade de melhorar ainda mais o produto e o desempenho entregue aos usuários nos futuros empreendimentos.

5 CONCLUSÃO

Fundamentado na literatura a respeito do desempenho acústico de esquadrias de alumínio, em conjunto ao estudo dos métodos e materiais utilizados, observou-se a relevância desse tema, principalmente no controle de qualidade, conforto e habitabilidade das moradias de baixo custo entregues aos usuários. Portanto, foi conduzido o presente trabalho com o objetivo principal de realizar um estudo de caso para determinar o nível de desempenho acústico de esquadrias de alumínio em um condomínio de interesse social localizado em uma via de tráfego intenso da cidade de Porto Alegre - RS.

Como objetivo específico, teve-se a definição dos critérios de avaliação para o desempenho acústico das esquadrias através de imersão nas fontes teóricas e normas regulatórias. Esse processo teve extrema importância no desenvolvimento do trabalho, uma vez que contribuiu na construção de um conhecimento sólido sobre o assunto para, posteriormente, permitir a avaliação técnica do caso em questão. A análise do projeto de esquadria de alumínio do empreendimento, além dos demais estudos e ensaios realizados, bem como os materiais utilizados e o acompanhamento da instalação das janelas permitiu entender as soluções adotadas pela Construtora para comparar com as normas de desempenho e, por fim, obter conclusões sobre o atendimento ou não das exigências mínimas.

Considerando os critérios avaliados foi possível obter um panorama geral das características de cada tipo de esquadria e de vidro aplicados no empreendimento. Tanto a janela de alumínio de correr com vidro *float* 3mm, utilizada nos locais com classe de ruído I e II, quanto a janela de alumínio alçante com vidro laminado 3+3 mm, utilizada nas fachadas com classe de ruído III, atenderam o desempenho mínimo para as classes de ruído nas quais estavam destinadas as suas utilizações, atestando, assim, o cumprimento da Construtora às exigências das normas regulatórias.

De maneira geral, destaca-se a importância da norma de desempenho para definir critérios e orientar as construtoras e os usuários quanto aos seus direitos e deveres. Além disso, um bom projeto de esquadrias, com material e produto final com qualidade atestada através de laudos disponibilizados pelo fornecedor, atrelado à correta instalação pela construtora, sem frestas entre a esquadria e a parede, são itens imprescindíveis para garantir completa vedação, assegurando o desempenho acústico global do sistema. Os ensaios de campo realizados após a

finalização das instalações testemunham a qualidade do produto entregue ao usuário, servindo como forma de retroalimentação para eventuais melhorias em todo o processo.

Ademais, foi observado que o atendimento às exigências normativas pode e deve ser seguido, mesmo em empreendimentos construídos de maneira econômica, uma vez que existem soluções capazes de aliar qualidade e custo moderado. Sugere-se, ainda, como forma de melhoria, a análise da utilização de esquadrias com vidro insulado, visto o grande potencial acústico comprovado através de estudos encontrados na literatura.

Assim sendo, é possível concluir que o presente trabalho cumpriu com os objetivos propostos e possibilitou um maior entendimento acerca do desempenho acústico de esquadrias de alumínio, bem como das exigências necessárias para cada tipo de sistema, possibilitando uma reflexão quanto às possíveis ações que podem ser colocadas em prática com o intuito de melhorar ainda mais o sistema de vedação externa de empreendimentos populares.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Arthur Freitas. **Estratégias para redução de riscos na produção do vidro laminado**. 2023. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/66591>. Acesso em: 05 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOPS – ABRAVIDROS. Benefícios em dose dupla. **Abra Vidro**, São Paulo, 17 fev. 2017. Disponível em: <https://abravidro.org.br/vidros-insulados-beneficios/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

_____. **ABNT ISO 6927**: Edifícios e obras de engenharia civil – Selantes – Vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 10821-1**: Esquadrias para edificações. Parte 1: Esquadrias externas e internas – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 12609**: Alumínio e suas ligas – Tratamento de superfície – Requisitos para anodização para fins arquitetônicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____. **NBR 14697**: Vidro laminado. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA – PROACUSTICA. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. 3 ed. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/>. Acesso em: 28 set. 2023.

BENTO, Christian; FOIATO, Maiara; CARELLI, Jhulis Marina. Análise do desempenho térmico e acústico de elementos e esquadrias com diferentes configurações. **Conhecimento Em Construção**, Joaçaba, v. 8, p. 7–32, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/conheconstr/article/view/27211>. Acesso em: 03 jan. 2024.

BEZ. Elevadora (Alçante). **Bez**, Farroupilha, RS, 2014. Disponível em: <https://www.bez.com.br/produto/elevadora-alcante>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BOUFLEUR, Vinícius. **Desempenho Acústico de Edificações Habitacionais: Desafios Para Implementação Da Norma De Desempenho**. 2013. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96344>. Acesso em: 23 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, DF, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 02 nov. 2023.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social**. Brasília, DF, 03 ago. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social>. Acesso em: 25 mar. 2023.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Esquadrias para edificações desempenho e aplicações: orientações para especificação, aquisição, instalação e manutenção**. Brasília, DF: CBIC/SENAI, 2017. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_de_Esquadrias_para_Edificacoes_2017.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Procedimento para medição de níveis de ruído em sistemas lineares de transporte**. Decisão de Diretoria Nº 100/2009/P, de 19 de maio de 2009. Dispõe sobre a aprovação do Procedimento para Avaliação de Níveis de Ruído em Sistemas Lineares de Transporte. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2013/11/proced_med_niveis_ruído.pdf. Acesso em: 23 set. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 1, de 08 de março de 1990**. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Brasília, DF, 1990. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_CONAMA_001_1990.pdf. Acesso em: 02 jan. 2024.

FERREIRA, Paola Diamante. **Análise do desempenho acústico de vidros de diferentes tipos e combinações, em ambiente controlado, em banda de 1/1 oitava de frequência**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://archivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos/tede/paoladiamanteferreira.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2024.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 1 ed. Florianópolis: Centro Brasileiro de Segurança e Saúde, 1992.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 10140-2: Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measureme**. Geneva: ISO, 2010.

_____. **ISO 10052:** Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method. Geneva: ISO, 2021.

_____. **ISO 9001:** Quality management systems — Requirements. Geneva: ISO, 2000.

_____. **ISO 16283-2:** Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. Geneva: ISO, 2020.

_____. **ISO 140-5:** Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of Building elements — Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Geneva: ISO, 1998.

_____. **ISO 717-1:** Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of Building elements — Part 1: Airborne sound insulation. Geneva: ISO, 2020.

_____. **ISO 1996-2:** Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels. Geneva: ISO, 2007.

OLIVEIRA, Maria Fernanda; HEISLER, Rafael. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 385-402, jan. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/c6RFPFWG4mbr3sZsQ6sx6B/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2023.

PIRES, Marcela Rosa. **Análise comparativa da norma de desempenho, ABNT NBR 15575: 2013 com uma tipologia do programa minha casa minha vida**. 2015. 55 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AGWK2H>. Acesso em: 12 set. 2023.

PORTO ALEGRE. **Decreto nº 8185, de 07 de março de 1983**. Regulamenta a lei complementar nº 65 de 22.12.81, estabelece padrões de emissão e imissão de ruídos e vibrações, bem como outros condicionantes ambientais e dá outras providências. Porto Alegre, RS, 1983. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/decreto/1983/819/8185/decreto-n-8185-1983-regulamenta-a-lei-complementar-n-65-de-221281-estabelece-padroes-de-emissao-e-imissao-de-ruídos-e-vibrações-bem-como-outras-condicionantes-ambientais-e-da-outras-providências>. Acesso em: 29 dez. 2023.

_____. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA. **Capítulo IV – Das Zonas de Uso**. Porto Alegre, RS, 1999. Disponível em: [https://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/spm/1c4_2.htm#:~:text=Cidade%20Miscigenada%20significa%20que%20quase,juntas%20\(no%20mesmo%20pr%C3%A9dio\)](https://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/spm/1c4_2.htm#:~:text=Cidade%20Miscigenada%20significa%20que%20quase,juntas%20(no%20mesmo%20pr%C3%A9dio)). Acesso em: 23 dez. 2023.

_____. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA. **Planejamento urbano democrático**. Porto Alegre: PDDUA, 2010. Disponível em: https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/planodiretortexto.pdf. Acesso em: 29 nov. 2023.

SAIBA mais sobre a laminação com PVB. **Anavidro**, São Paulo, 22 fev. 2013. Disponível em: <https://www.anavidro.com.br/saiba-mais-sobre-a-laminacao-com-pvb/>. Acesso em: 01 dez. 2023.

SERANO, Pablo. NBR 15575: como adequar o desempenho acústico de edificações. **Portal Acústica**, [s.l.], 11 nov. 2019. Disponível em: <https://portalacustica.info/nbr-15575-desempenho-acustico/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. Materioteca Sustentável. **Vidros**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/vidros/>. Acesso em: 30 nov. 2023.