

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

**Marcelo Wagner**

**ANÁLISE TÉCNICA DE PROJETO E ACOMPANHAMENTO  
DE EXECUÇÃO DE CONTRAPISO FLUTUANTE EM PRÉDIO  
DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre  
2023

**MARCELO WAGNER**

**ANÁLISE TÉCNICA DE PROJETO E ACOMPANHAMENTO  
DE EXECUÇÃO DE CONTRAPISO FLUTUANTE EM PRÉDIO  
DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Diplomação apresentado a Comissão de Graduação 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: Luciani Somensi Lorenzi

Porto Alegre  
2023

**MARCELO WAGNER**

**ANÁLISE TÉCNICA DE PROJETO E ACOMPANHAMENTO  
DE EXECUÇÃO DE CONTRAPISO FLUTUANTE EM PRÉDIO  
DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE PORTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO 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, 2023.

**Professora Luciani Somensi Lorenzi**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**  
**Professora Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**José Alberto Azambuja (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a minha família, em especial aos meus pais, Adair e Mônica, e minha irmã Patrícia. Obrigado pelo carinho, apoio, incentivo e toda força que me deram.

Agradeço à minha namorada, Daniela, por todo amor, carinho e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à professora Luciani pela orientação, atenção e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos, Gabriel e Richard, por todos churrascos, discussões e freguesia ao longo do curso.

## **RESUMO**

O presente trabalho se propõe a realizar a análise de projetos e execução do sistema de pisos de um empreendimento de alto padrão, com foco no desempenho acústico para sistema de piso frente ao ruído de impacto. Para tanto, o trabalho se propôs a entender a estrutura e conceitos referente ao sistema de pisos, conforme estabelece a NBR 15575 (ABNT, 2021) e estudo do referencial teórico quanto ao ruído de impacto. Foi realizado um estudo de caso em uma obra, analisando o cumprimento dos requisitos estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2021) e a especificação dos materiais e componentes. A seguir realizou-se a análise crítica dos projetos e documentos disponíveis para a execução de um contrapiso flutuante, técnica adotada visando atender o desempenho acústico para a edificação. Após essa análise documental, foram apresentados itens críticos acompanhados durante a execução, com a sugestão de pontos a melhorar e boas práticas a se adotar e a elaboração de uma lista de verificação referente a documentos, materiais/componentes e atividades que devem ser inspecionadas antes da execução do serviço, buscando com que o sistema de pisos atinja o desempenho esperado. Ao final do trabalho verificou-se a deficiência de compatibilização entre os sistemas e seus impactos negativos durante a execução do serviço e também verificada a necessidade do serviço de contrapiso flutuante ser bem planejado durante todo o andamento da obra.

Palavras-chave: desempenho acústico. NBR 15575 (ABNT, 2021). Ruído de impacto. Sistema de pisos.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - PDE da edificação quanto ao desempenho acústico .....	16
Figura 2 - Estrutura adotada na NBR15575 .....	22
Figura 3 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus componentes .....	24
Figura 4 - Ilustração da transmissão de ruído de percussão pelos elementos construtivos .....	28
Figura 5 - Critérios de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de normas e regulamentações no Brasil e em outros países .....	30
Figura 6 - Sistema de contrapiso flutuante .....	33
Figura 7 - Planta baixa de um apartamento padrão final 02 .....	35
Figura 8 - Detalhe das camadas do sistema de piso projetado .....	36
Figura 9 - Especificação de mantas acústicas do projeto de acústica.....	38
Figura 10 - Exemplo de máquina utilizada em realização de teste acústico do sistema de piso .....	39
Figura 11 - Resultados do ensaio da manta ondulada .....	40
Figura 12 - Especificação de rodapé do projeto de acústica.....	41
Figura 13 - Resultado do ensaio do rodapé acústico .....	42
Figura 14 - Planta baixa arquitetônica do pavimento tipo.....	44
Figura 15 - Sistemas e especificações de desempenho acústico .....	45
Figura 16 - Especificações do projeto acústico para sistema de pisos .....	46
Figura 17 - Planta baixa do projeto arquitetônico .....	46
Figura 18 - Exemplo de locais indicados em projeto para tratamento acústico .....	47
Figura 19 - Indicações de juntas de dilatação no projeto padrão.....	50
Figura 20 - Exemplo de indicação de junta de dilatação em dormitório.....	51
Figura 21 - Exemplo do projeto de juntas indicando cotas com múltiplos de 30 cm.....	51
Figura 22 - Indicação de áreas impermeabilizadas.....	52
Figura 23 - Exemplo de locais especificados com manta acústica no memorial descritivo.....	53
Figura 24 - Indicação do passo a passo do projeto de piso acústico .....	54
Figura 25 - Traço (sem pedrisco) utilizado na obra.....	56
Figura 26 - Especificações a serem atingidas pela argamassa.....	57
Figura 27 - Compressor a diesel utilizado para bombeamento .....	57
Figura 28 - Misturador de argamassa utilizado .....	58
Figura 29 - Transporte vertical da argamassa através de mangotes .....	58
Figura 30 - Tabela utilizada para definição de reforço na argamassa .....	59

Figura 31 - Tabela descrevendo reforços na argamassa .....	59
Figura 32 - Laje preparada para a colocação da manta .....	61
Figura 33 - Detalhe da virada do rodapé acústico na laje.....	62
Figura 34 - Rodapé instalado com dimensão da virada inferior ao estipulado.....	62
Figura 35 - Rodapé instalado com virada na laje adequada .....	63
Figura 36 – Manta: (a) descarga da manta palletizada com a utilização de caminhão Munck e (b) armazenamento no andar para uso .....	65
Figura 37 - Ambiente da sala com manta acústica colocada.....	65
Figura 38 - Ambiente de dormitório com manta acústica colocada .....	66
Figura 39 - Recorte da manta executado erroneamente .....	66
Figura 40 - Projeto de instalações de gás mostrando trajeto pela laje .....	67
Figura 41 - Instalações de gás embutidas no contrapiso .....	68
Figura 42 - Instalações elétricas embutidas no contrapiso .....	69
Figura 43 - Interferências de trajetos de instalações de elétrica e gás .....	69
Figura 44 - Interferências de trajetos de instalações de elétrica .....	70
Figura 45 - Cruzamento de mangote e instalações elétricas.....	71
Figura 46 - Marcações de pontos elétricos com blocos cerâmicos.....	72
Figura 47 - Colocação de lona 60 micras sobre manta acústica.....	72
Figura 48 - Box preparado para execução do contrapiso .....	74
Figura 49 - Lavanderia preparado para execução do contrapiso .....	75
Figura 50 - Reforço de quinas .....	76
Figura 51 - Reforço de portas .....	76
Figura 52 - Reforço sobre tubulação elétrica.....	77
Figura 53 - Junta de dilatação do contrapiso da sala de estar.....	78
Figura 54 - Junta de dilatação do contrapiso de dormitório .....	78
Figura 55 - Junta de separação de ambientes .....	79
Figura 56 - Junta de separação de ambientes .....	80
Figura 57 - Indicação de locais com piso acústico .....	81
Figura 58 - Projeto de impermeabilização com especificação de tratamentos em cada local..	81
Figura 59 - Detalhe de impermeabilização entre áreas secas e molhadas .....	82
Figura 60 - Banheiro com junta de dilatação acústica.....	83
Figura 61 - Detalhe de impermeabilização entre banheiro e dormitório.....	83
Figura 62 - Detalhe do embutimento do marco superior no forro, considerando a existência de um cortineiro .....	85



Figura 63 - Detalhe do embutimento do marco lateral na alvenaria .....	85
Figura 64 - Corte exibindo trilho inferior da esquadria minimalista.....	86
Figura 65 - Drenagem da esquadria voltada para a varanda.....	87
Figura 66 - Drenagem da esquadria substituindo o ralo sekapiso .....	87
Figura 67 - Projeto executivo do consultor de esquadrias. Detalhe para a não existência do contramarco .....	89
Figura 68 - Projeto de impermeabilização prevendo impermeabilização com membrana de poliuretano .....	89
Figura 69 - Grapa chumbada do contramarco voltada para o lado interno .....	91
Figura 70 - Corte do detalhamento de impermeabilização na varanda e living .....	92
Figura 71 - Projeto arquitetônico com indicação de níveis .....	93
Figura 72 - Projeto estrutural com indicação de níveis .....	94
Figura 73 - Execução da impermeabilização com membrana de poliuretano, com a presença das barras roscadas e da mureta para ancoragem .....	95
Figura 74 - Patologia causada no contrapiso devido à mureta .....	96
Figura 75 - Faixa de contrapiso a ser executada de forma aderida.....	97
Figura 76 - Faixa de contrapiso executada de forma aderida .....	98
Figura 77 – Lista de verificação de início de serviço .....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela 5 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Parâmetros acústicos de avaliação.....	28
Quadro 2 - Tabela 6 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ .....	29
Quadro 3 - Tabela E.1 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ .....	29
Quadro 4 - Valores de redução ponderada do nível de pressão sonora para materiais elásticos de revestimento.....	32
Quadro 5 - Tabela F11 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Índice de redução sonora ponderado, $R_w$ , de fachadas.....	49
Quadro 6 - Divisão de locais com manta acústica e suas respectivas áreas .....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ISO: International Organization for Standardization

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

PBQP-H - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na Habitação

SiAC - Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil

SiMaC - Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos

SiNAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais

PDE – Perfil de Desempenho da Edificação

PCT – Plano de Controle Tecnológico

$L_{nT,w}$  - Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado

$D_{nT,w}$  - Diferença padronizada de nível ponderada

$R_w$  - Índice de redução sonora ponderado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICADA .....	15
1.2	DELIMITAÇÃO E LIMITAÇÃO .....	17
1.3	DELINEAMENTO .....	18
<b>2</b>	<b>ESTRUTURA DA NBR 15575 (ABNT, 2021) .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE PISOS .....</b>	<b>24</b>
3.1	RUÍDO DE IMPACTO .....	26
3.1.1	REPERCUSSÃO NA SOCIEDADE QUANTO AO RUÍDO .....	30
3.2	ALTERNATIVAS PARA MELHORAR O ISOLAMENTO .....	31
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO: CARACTERÍSTICA DO EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>34</b>
4.1	O EMPREENDIMENTO .....	34
4.2	SISTEMA DE PISO PROJETADO .....	35
4.3	MATERIAIS ESPECIFICADOS .....	38
4.3.1	MANTA ONDULADA ACÚSTICA .....	38
4.3.1.1	RELATÓRIO DE ENSAIO .....	39
4.3.2	RODAPÉ ACÚSTICO .....	41
4.3.2.1	RELATÓRIO DE ENSAIO .....	41
<b>5</b>	<b>ANÁLISE CRÍTICA DOS PROJETOS E DOCUMENTOS DISPONÍVEIS PARA EXECUÇÃO DO CONTRAPISO FLUTUANTE .....</b>	<b>43</b>
5.1	RESUMO DA ANÁLISE .....	53
<b>6</b>	<b>ANÁLISE CRÍTICA DA EXECUÇÃO DO CONTRAPISO FLUTUANTE .....</b>	<b>54</b>
6.1	SEQUÊNCIA EXECUTIVA (ANTES OU APÓS O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA) .....	54
6.2	CONTRAPISO .....	56
6.2.1	ARGAMASSA .....	56
6.2.2	PREPARO DA LAJE .....	60
6.2.2.1	ÁREAS SECAS .....	60
6.2.2.2	ÁREAS MOLHADAS .....	73
6.2.3	REFORÇO DE CANTOS .....	75
6.2.4	JUNTAS DE DILATAÇÃO DO CONTRAPISO .....	77

6.2.4.1	JUNTAS DE DILATAÇÃO ENTRE AMBIENTES.....	79
6.2.5	ENCONTRO DE AMBIENTE COM E SEM MANTA ACÚSTICA.....	80
6.3	ENCONTRO COM ESQUADRIA.....	84
6.3.1	MURETA DE ANCORAGEM DA IMPERMEABILIZAÇÃO.....	92
6.4	RESUMO DA ANÁLISE.....	98
<b>7</b>	<b>MODELO PRÉ-EXECUTIVO DO CONTRAPISO FLUTUANTE.....</b>	<b>99</b>
7.1	MOTIVAÇÃO PARA AS QUESTÕES.....	101
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A ABNT NBR 15575 surgiu para qualificar as edificações no Brasil. Nos anos 1970, devido à alta inadimplência nos pagamentos das habitações, o investimento em construção de novas moradias foi reduzido, o que levou a redução na qualidade das mesmas. Tendo isso em vista, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) realizou em 1981 uma pesquisa para avaliar o desempenho de sistemas construtivos inovadores para habitação, intitulado “Formulação de Critérios para Avaliação de Habitações”, considerado um precursor da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Após uma tentativa de implementação da NBR 15575 (ABNT, 2021), doravante também chamada apenas de norma, em 2008, que possui uma restrição para edificações de até 5 pavimentos, entrou em vigor a ABNT NBR 15575/2013 que passou a ser válida em junho de 2013, já sem a restrição de pavimentos. A norma de 2008 foi cancelada pois possuía algumas exigências aquém das expectativas da sociedade, e outras conflitantes com a situação econômica do país (CBIC, 2013). A NBR 15575 (ABNT, 2021) atual conta com 6 partes, que são referentes à:

- a) Requisitos gerais;
- b) Sistemas estruturais;
- c) Sistemas de pisos;
- d) Sistemas de vedações verticais internas e externas;
- e) Sistemas de coberturas;
- f) Sistemas hidrossanitários.

Estes requisitos são avaliados em 3 níveis definidos pela norma: nível mínimo (M), nível intermediário (I) e nível superior (S). Esse sistema de níveis fornece ao usuário uma série de informações na hora da compra do imóvel, para que sejam avaliados a qualidade, desempenho e custo-benefício. Independentemente destes entraves, as empresas de referência no mercado estão se mobilizando, tentando incorporar a NBR 15575 (ABNT, 2021) em sua rotina e criando modelos inovadores de trabalho (CORBIOLI, 2016).

O presente trabalho tem por objetivo identificar o atendimento do projeto aos pontos exigidos na ABNT NBR 15575, quanto a questão de desempenho acústico do sistema de pisos. Verificar

a correta especificação dos materiais e seus desempenhos informados. Como objetivo secundário, também se pretende analisar os detalhamentos executivos do projeto e sua compatibilização com demais sistemas.

Tem-se como senso comum dentro do mercado da construção civil que as construtoras apresentam que os edifícios de alto padrão atendem apenas o nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2021) por motivos jurídicos, com o objetivo de evitar possíveis processos, muitas vezes os projetos possibilitam o atingimento de níveis superiores. Assim, mesmo que o Perfil de Desempenho da Edificação (PDE) apresente o nível mínimo, este trabalho tem como objetivo acompanhar a execução e verificar pontos críticos durante a execução do serviço de contrapiso flutuante, já sabendo que, pela espessura da laje mais o sistema de pisos ser de 37 cm, já é possível categorizá-lo no desempenho superior.

Em paralelo a isso, será acompanhada a execução do contrapiso em diversas unidades do empreendimento buscando o melhor entendimento e identificação de possíveis falhas de projeto e de execução que possam vir a prejudicar o desempenho esperado para a edificação.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICADA

Segundo Parise (2018), muitas empresas ainda encontram dificuldades no atendimento dos requisitos de desempenho e ainda não assimilaram a dimensão da responsabilidade e riscos que assumem ao não atingir ao menos o desempenho mínimo.

Essa dificuldade é mais evidente em empresas de pequeno e médio porte, devido ao investimento em pessoal qualificado para elaboração e acompanhamento de procedimentos necessários para garantir o correto atendimento. Segundo Vogt (2021), devido a necessidade de atendimento aos requisitos mínimos estabelecidos a partir da comprovação por simulações, ensaios de campo e de laboratório, a NBR 15575 (ABNT, 2021) gerou a necessidade de alteração no processo de projeto e no planejamento e gestão das empresas.

Um dos fatores que, certamente foram relevantes para a adequação da empresa em relação à NBR 15575 (ABNT, 2021), foram as diretrizes publicadas no Sistema de Avaliação de Conformidade – SiAC do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H.

Destaca-se que no Sistema de Avaliação de Conformidade (SiAC) é fundamental a caracterização do Perfil de Desempenho da Edificação (PDE) para empreendimentos imobiliários residenciais, como um documento de entrada de projeto que registra requisitos dos usuários e respectivos níveis de desempenho a serem atendidos por uma edificação habitacional.

O PDE, na Figura 1, demonstra os requisitos quanto ao desempenho acústico da edificação em questão:

**Figura 1** - PDE da edificação quanto ao desempenho acústico

REQUISITOS DOS USUÁRIOS NBR 15.575	PBQP-H SIAC 2017	NBR 15.575 / 2013		
		PARTE 3 REQUISITOS PARA OS SISTEMAS DE PISO		
		Crítérios	D. A.	Atendimento
<b>Síglas Utilizadas: D. A. = DESEMPENHO ATINGIDO: (M) Mínimo (I) Intermediário (S) Superior</b>				
Item 12 - Desempenho Acústico	7.Desempenho Acústico	12.3.2	M	Diretrizes de projeto/relatório de consultoria especializada

Fonte: elaborado pela construtora.

Outro documento fundamental para o controle da qualidade do empreendimento é o Plano de Qualidade da Obra (PQO), que é um documento elaborado internamente pela construtora visando a definição das diretrizes básicas da obra relacionadas a implementação e manutenção do Sistema de Gestão da Qualidade, Saúde e Segurança do Trabalho, destacando-se suas características e necessidades específicas.

Dentro do PQO, está descrito o Plano de Controle Tecnológico (PCT) do empreendimento, que relaciona os meios, as frequências e os responsáveis pela realização dos ensaios dos materiais controlados a serem aplicados e os serviços controlados a serem executados na obra, para que comprovem o atendimento às normas técnicas aplicáveis e aos requisitos de projeto. O PCT faz uma classificação inicial em três grandes grupos:

- Materiais: materiais, componente e sistemas controlados que necessitam de comprovação quanto ao atendimento às normas técnicas;



- Serviços: serviços controlados para os quais devem ser requeridos ensaios que determinam a uniformidade na produção de um sistema único, quanto as suas características de desempenhos, como revestimento de argamassa externo, cerâmica, instalações hidrossanitários, etc.;
- Sistemas: sistemas são um conjunto de serviços que devem ser testados como um conjunto único, como impermeabilização, fachada, etc.

Sempre que for realizada uma contratação, o responsável deve verificar quais documentos e controles são solicitados conforme especificado no PCT. As classificações podem ser as certificações compulsórias, qualificação PSQ (Programa Setorial de Qualidade), laudos, ensaios ou testes.

Para o caso específico do contrapiso flutuante, o PCT tem papel fundamental na compra, por exemplo, da manta acústica. Ao se realizar a contratação do material, foi necessário consultar o PCT para se certificar que o material cumpre o exigido pelas normas técnicas. Esses documentos devem ser armazenados pela construtora para a posterior comprovação ao cliente.

## 1.2 DELIMITAÇÃO E LIMITAÇÃO

O escopo do trabalho delimita-se a um empreendimento imobiliário localizado na cidade de Porto Alegre/RS, focando na análise técnica de documento referente ao sistema de piso utilizado no empreendimento, como: ensaios/testes, projetos e especificações de materiais/componentes, detalhes executivos e execução do sistema de pisos. O empreendimento analisado é residencial multifamiliar, projetado após a publicação da NBR 15575 (ABNT, 2021), que foi em 2013 (atualmente, a versão é de 2021).

O trabalho tem como limite a não abordagem de desempenho acústico frente ao ruído aéreo em sistemas de pisos, bem como não será abordado nenhum sistemas além do sistema de piso. Também, não foi considerado os custos referente às exigências de detalhamento de projeto, especificação de materiais/componentes e nem o custo da execução de obras para o sistema de piso.

### 1.3 DELINEAMENTO

O trabalho será dividido conforme as etapas a seguir:

- a) Contextualização do problema;
- b) Apresentação do conceito de desempenho e estrutura da NBR 15575 (ABNT, 2021);
- c) Sistema de Piso e o requisito ruído de impacto;
- d) Estudo de caso: características do empreendimento;
- e) Desenvolvimento do trabalho, focado na: análise dos projetos pertinentes à execução do contrapiso flutuante; verificação dos componentes especificados em projetos e características apresentadas pelos fornecedores frente ao comportamento de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021) e frente ao que é estabelecido para vida útil de projeto (VUP) e apresentação de pontos críticos verificados durante a execução do sistema de piso;
- f) Resultado da análise e elaboração de modelo a ser proposto para ser aplicado antes do início da execução do sistema de piso;
- g) Considerações finais com perspectiva de novos estudos.

## 2 ESTRUTURA DA NBR 15575 (ABNT, 2021)

O conceito do termo desempenho de edificações possui diversas interpretações e definições diferentes ao longo do tempo, pois segundo Borges (2008) o conceito de desempenho de edificações tem caráter sistêmico e probabilístico, pois atender as necessidades humanas é tarefa complexa, varia em determinado contextos e se mostra crescente e variável ao longo do tempo. Segundo Lorenzi (2013), o conceito de desempenho é mutável e contemporâneo.

Nos Estados Unidos, no ano de 1925, o U. S. National Bureau of Standarts publicou um documento solicitando que os requisitos sejam estabelecidos, quando possível, em termos de desempenho baseados em testes, métodos construtivos e materiais específicos. Já deixando claro que o importante é que a edificação atinja o desempenho adequado, não sendo necessário que o edifício utilize técnicas e materiais consagrados e de uso comum, deixando, dessa forma, o mercado da construção mais aberto a inovações tecnológicas. Em 1970, o U. S. department of Housing and Urban Development, vinculado ao National Institute of Standart (sucessor do U. S. National Bureau of Standarts), realizou um grande trabalho voltado para a área de desempenho de edificações que acabou resultando na publicação de um documento contendo a definição de critérios de desempenho para aquele país.

Nos países desenvolvidos da Europa, desde a década de 60, a definição de desempenho de edificações está associada ao comportamento em uso dos mesmos (BLACHERE, 2003). A forma de tratamento nesses países desenvolvidos pode variar de país para país, por exemplo, na França não existe norma técnica vigente que imponha uma vida útil mínima de projeto aos empreendimentos ou materiais, pois os próprios fabricantes e construtores têm interesse em oferecer produtos com maior durabilidade para não perder mercado. Já no Reino Unido existe uma Norma Técnica que explicita a vida útil das edificações, mas segundo Borges (2008), podemos afirmar que a durabilidade das edificações é um tema razoavelmente resolvido no mundo desenvolvido.

Em comparação com o Brasil, os países desenvolvidos possuem a “vantagem”, por assim dizer, de possuírem um mercado consumidor que aceita e têm condições de pagar por um produto de maior qualidade e, conseqüentemente, maior durabilidade e desempenho. No Brasil, devido a condições históricas e macroeconômicas, as edificações, em sua maioria, devem se adequar ao orçamento disponível e a quanto o mercado está disposto a pagar, sendo mais difícil embutir o custo de produtos e técnicas mais sofisticadas.

A NBR 15575 (ABNT, 2021) brasileira indica, em seu anexo C da Parte 1, que os prazos de vida útil adotados são inferiores ao aceito internacionalmente como mínimo, devido às funções socioeconômicas existentes atualmente no país, mas indica que esses prazos podem ser modificados após nova revisão. Essa nota da norma reforça o observado por Lorenzi (2013), de que o conceito de desempenho é mutável e contemporâneo.

Especificamente quanto aos requisitos de desempenho acústico de sistema de pisos, foi observado por Rasmussen (2010) que os critérios brasileiros para os referidos sistemas estão notadamente acima da média em relação a países europeus, o que permite que as edificações brasileiras tenham desempenho acústico inferior em comparação às europeias.

No Brasil, Mitidieri Filho e Helene (1998) definiram a palavra desempenho como “cujo significado é comportamento em utilização, caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil”.

De acordo com Borges (2008), o edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso.

Já a norma brasileira, a NBR 15575 (ABNT, 2021), define desempenho como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Ela nos fornece algumas definições, estabelecidas no item 3 da parte 1, que auxilia na esclarecimento, tais como:

- **Desempenho:** Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;
- **Norma de desempenho:** conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes;
- **Sistema:** A maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, coberturas)
- **Exigências do usuário:** Conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções;

- **Requisitos de desempenho:** Condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário;

- **Critérios de desempenho:** Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados;

Segundo Borges (2008), a Parte 1 da norma versa sobre objetivos, premissas e conceitos gerais sobre o tema desempenho de edificações, e define os requisitos gerais aplicáveis a cada tipo de sistema. Em cada parte da NBR 15575 (ABNT, 2021), é analisado o desempenho em termos de desempenho mínimo obrigatório, existindo sempre, em anexos, os critérios para a adequação a níveis intermediários ou superiores.

Como já citado anteriormente, a norma é dividida em 6 partes, que são, para relembrar:

**Parte 1:** Requisitos gerais;

**Parte 2:** Sistemas estruturais;

**Parte 3:** Sistemas de pisos;

**Parte 4:** Sistemas de vedações verticais internas e externas;

**Parte 5:** Sistemas de coberturas;

**Parte 6:** Sistemas hidrossanitários.

Cada parte específica da NBR 15575 (ABNT, 2021) sobre algum desses sistema é formatada para atendimento do desempenho obrigatório segundo uma classificação de requisitos em três níveis, sendo eles, conforme Figura 2:

- Requisitos (qualitativos);
- Critérios (quantitativos);
- Métodos de Avaliação.

**Figura 2** - Estrutura adotada na NBR15575



Fonte: Borges (2008)

Esse formato foi seguido rigorosamente para facilitar o entendimento da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Na parte 3 da norma, chamada “Edificações habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos” é decorrido sobre os seguintes temas:

- Desempenho estrutural;
- Segurança ao fogo – Sistema de pisos;
- Segurança e uso na operação;
- Estanteidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho lumínico;
- Durabilidade e manutenibilidade;
- Saúde, higiene e qualidade do ar;
- Funcionalidade e acessibilidade;
- Conforto tátil, visual e antropodinâmico;
- Adequação ambiental.

Este trabalho está focado no item de Desempenho acústico dos sistemas de pisos. A NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta dois tipos de isolamento de ruído, sendo eles o isolamento de ruído de

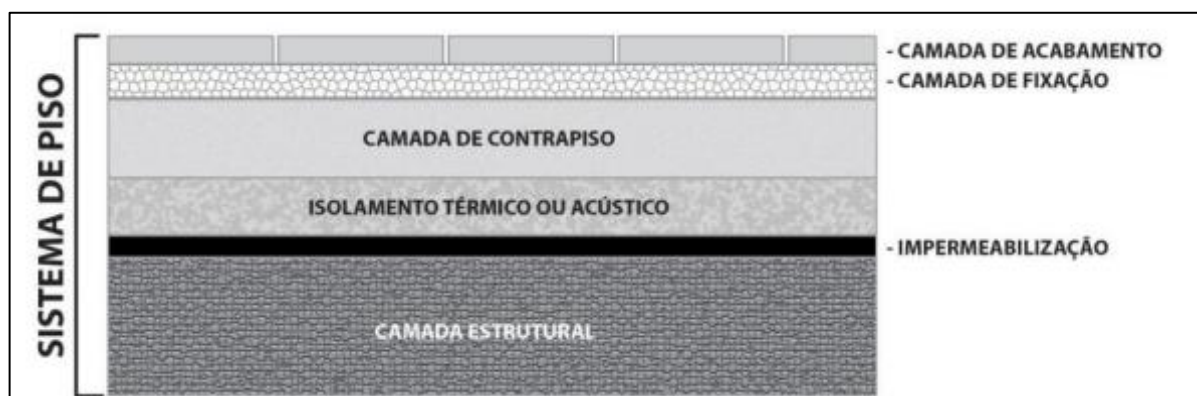
impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros). Dentre esses dois tipos, foi analisado mais profundamente o ruído de impacto.

### 3 SISTEMA DE PISOS

Na parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos a norma define o sistema de pisos como:

Sistema horizontal ou inclinado (ver Figura 3) composto por um conjunto parcial ou total de camadas (por exemplo, camada estrutural, camada de contrapiso, camada de fixação, camada de acabamento) destinado a atender à função de estrutura, vedação e tráfego, conforme os critérios definidos nesta parte da NBR 15575 (ABNT, 2021).

**Figura 3** - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus componentes



Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

Alguns termos e definições importantes quanto a esse sistema:

- **Ruído de impacto:** som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar
- **Ruído aéreo:** som produzido e transmitido através do ar
- **Impermeabilização do sistema de piso:** conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com a finalidade de proteger as construções contra a ação destrutiva por fluidos, vapores e umidade
- **Isolamento térmico do sistema de piso:** conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com a finalidade de proteger as construções contra a ação dos efeitos de variações de temperatura



- **Isolamento acústico do sistema de piso:** conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com a finalidade de atenuar a passagem de ruídos
- **Camada de contrapiso:** estrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderida ou não, e adequada à camada de acabamento, podendo eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade
- **Camada de acabamento do sistema de piso:** composta por um ou mais componentes (por exemplo, laminados, placas cerâmicas, vinílicos, revestimentos têxteis, rochas ornamentais, madeiras, rejuntas, componentes de juntas etc.) destinado a revestir a superfície do sistema de piso e atender a funções de proteção e acabamento estético e funcional
- **Camada estrutural do sistema de piso:** constitui o elemento resistente às diversas cargas do sistema de pisos

A NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta como requisito que o sistema de pisos propicie condições de isolamento acústico entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas.

No âmbito do desempenho acústico são dois os tipos de ruído mais importantes para análise, sendo eles o ruído de impacto e o ruído aéreo. A norma nos fornece dois métodos para realizar esta análise.

O primeiro é o método simplificado de campo, descrito no ISO 10052, que permite obter uma estimativa do isolamento sonoro de ruído aéreo e o nível de pressão sonora de impacto-padrão em sistema de piso quando não se tem disponível a instrumentação necessária para medição do tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído do ambiente não permitem obter esse parâmetro.

O segundo método é o método de engenharia, realizado em campo, descrito pela ISO 140-7, que determina, em campo e de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto-padrão em sistema de piso entre unidades autônomas. Ele também determina, através de instrumentação,

o isolamento sonoro de ruído aéreo entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns. Esse método, de engenharia, é o mais preciso.

Como critérios para a avaliação dos ruídos de impacto tem-se o  $L'_{nT,w}$ , nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, que é verificado através do método de engenharia. Esse ensaio tem por objetivo determinar o isolamento sonoro global da vedação externa, caracterizando diretamente o comportamento do sistema acústico como um todo. Segundo Bistafa (2011), o nível de pressão sonora é a medida física para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons. Em relação aos ruídos aéreos, o critério utilizado é o  $D_{nT,w}$ , diferença padronizada de nível ponderada, também medido através do método de engenharia, que caracteriza a vedação entre ambientes, conforme método descrito na ISO 140-4. O ensaio realiza a comparação entre diferentes unidades habitacionais autônomas, entre unidades habitacionais autônomas e áreas de trânsito eventual (corredores e escadarias, por exemplo) e entre unidades habitacionais autônomas e áreas de uso comum (áreas de lazer, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, vestiários e etc.)

A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece, via de regra, os desempenhos mínimos para cada requisito, que devem, necessariamente, ser atendidos para obtenção do conforto do usuário. Considerando a possibilidade de melhoria da qualidade das edificações, instituiu-se também os níveis intermediário (I) e superior (S). Importante sempre avaliar o valor da relação custo/benefícios do incremento de dispositivos ou da melhora de materiais nas edificações que buscam a obtenção de níveis mais elevados, sendo sempre recomendado que, nestes casos, seja informado o aumento do nível. Também é relevante lembrarmos que conforto, atualmente, não é um luxo, mas sim uma necessidade dos clientes.

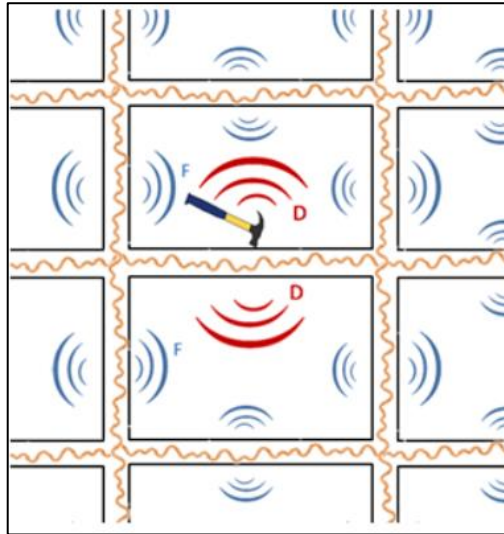
### 3.1 RUÍDO DE IMPACTO

Costa (2003) define o ruído como sons indesejáveis, aos quais perturbam a audição dos demais sons e nos prejudicam na execução das tarefas do cotidiano. O principal causador de incômodo entre os moradores de unidades habitacionais são as atividades causadoras de algum tipo de ruído de impacto. Desta forma, se faz necessário um melhor entendimento dos processos de geração, transmissão e reprodução do mesmo.

A origem do ruído, segundo Gerges (2000) é o contato ou atrito mecânico entre dois corpos, como, por exemplo: caminhamento, queda de objetos e outros. Segundo Parise (2018), a propagação desse ruído é, então, exercida pela vibração da estrutura que, devido a sua alta densidade e alta rigidez nas ligações, acelera e altera a velocidade das ondas sonoras, não permitindo o amortecimento da vibração.

Diferentes tipos de materiais possuem características de propagação diferentes. Materiais que com baixa densidade apresentam baixa transmissibilidade, apesar de poderem possuir uma velocidade de propagação alta.

De acordo com Mateus (2015), o modelo de previsão da transmissão de ruído de impacto baseia-se no princípio da reciprocidade, em que a velocidade de uma placa excitada por um campo sonoro aleatoriamente distribuído (em que todas as direções de incidência são igualmente prováveis) pode ser determinada diretamente a partir da potência sonora radiada por essa mesma placa quando excitada por uma força pontual, a Figura 4 representa esse efeito. Segundo Pires (2022), este tipo de ruído é de difícil controle, pois o piso de uma unidade habitacional pode propagar ruído e vibrações ao sistema estrutural e a outros componentes a ele rigidamente conectados e, conseqüentemente, aos fechamentos das unidades adjacentes, gerando assim campos sonoros nestes ambientes.

**Figura 4** - Ilustração da transmissão de ruído de percussão pelos elementos construtivos

Fonte: Pires (2022)

Cabe aos empreendimentos, projetistas e fabricantes de materiais obter o entendimento desses fatores e buscar as soluções adequadas para o atendimento dos requisitos solicitados pelos usuários.

Como citado no item Sistema de Pisos, a NBR 15575 (ABNT, 2021) define o ruído de impacto como o som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar. Para avaliar este critério deve-se utilizar ou o método de engenharia ou o método simplificado de campo, também já descritos anteriormente. A avaliação do ruído de impacto no sistema de pisos se dá através do estabelecimento dos valores máximos para o nível de pressão sonora produzido por impacto em pisos. As medições devem ser executadas portas e janelas (fechadas) e sistema de piso conforme entregue pela construtora.

**Quadro 1** - Tabela 5 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Parâmetros acústicos de avaliação

Símbolo	Descrição	NBR 15575 (ABNT, 2021)	Aplicação
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de piso

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

Em um primeiro momento a NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta a Quadro 2 que define os mínimos do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado para que o empreendimento atenda a norma.

**Quadro 2** - Tabela 6 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado,  $L'_{nT,w}$

<b>Elemento</b>	<b><math>L'_{nT,w}</math> (dB)</b>
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	$\leq 80$
Sistema 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 e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	$\leq 55$

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

No anexo E da NBR 15575 (ABNT, 2021) os níveis são fragmentados para enquadramento nos níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior):

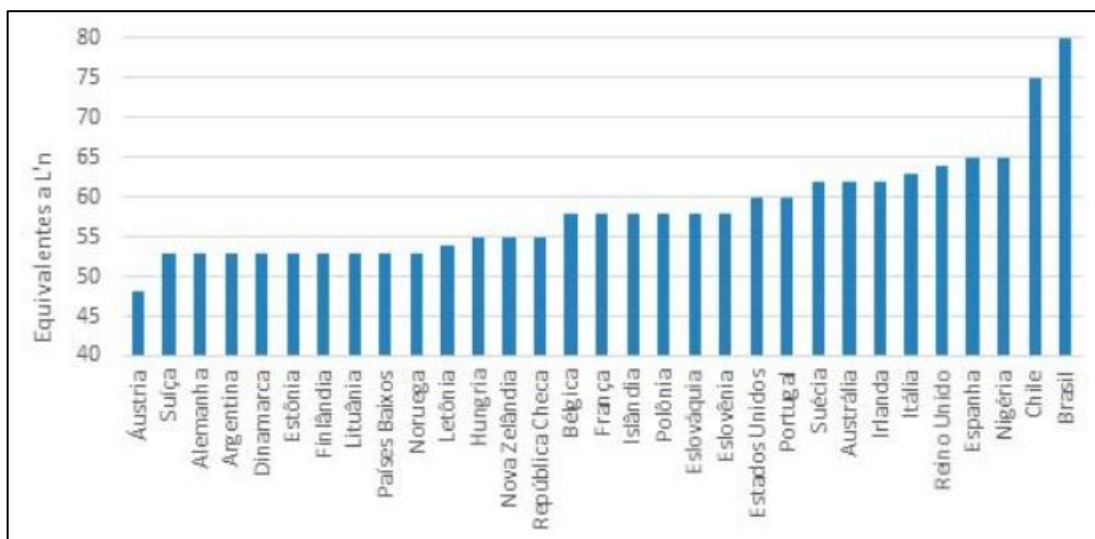
**Quadro 3** - Tabela E.1 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado,  $L'_{nT,w}$

<b>Elemento</b>	<b><math>L'_{nT,w}</math></b>	<b>Nível de desempenho</b>
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	$\leq 55$	S
Sistema 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 e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	$\leq 45$	S

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

A NBR 15575 (ABNT, 2021) especifica, como já citado no item Conceito de Desempenho, que os prazos de vida útil adotados são inferiores ao aceito internacionalmente como mínimo, devido às funções socioeconômicas existentes atualmente no país. E para o sistema de piso, em específico, não é diferente. A Figura 5 indica, para fins comparativos, quais são os requisitos mínimos estabelecidos por norma ou regulamentações de outros países. É possível notar como a brasileira é uma das menos exigentes atualmente.

**Figura 5** - Critérios de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de normas e regulamentações no Brasil e em outros países



Fonte: Machimbarrena e Rasmussen - 2016

### 3.1.1 REPERCUSSÃO NA SOCIEDADE QUANTO AO RUÍDO

A reclamação de condôminos, tanto por ruído de impacto quanto por ruído de aéreo, continua sendo habitual no Brasil. Em notícia recente, um condomínio localizado no Distrito Federal foi condenado a indenizar uma moradora por perturbação do sossego em razão dos barulhos excessivos vindos do espaço gourmet. Segundo a 3ª Turma Recursal dos Juizados Especiais do DF, as relações vizinhas devem se pautadas pelo respeito mútuo. A autora do processo informa que mora no 11º pavimento, e que, no 12º pavimento, o condomínio possui um espaço gourmet com piscina e churrasqueira onde costumam acontecer festas e eventos.

Apesar da implantação do horário do silêncio (Lei Distrital nº 4.092, de 30 de janeiro de 2008) que define o limite para emissão de barulho das 7h às 22h, a moradora informa que continua sofrendo com a importunação acústica referente a arrastos e pancadas de móveis juntamente

com passos e som alto. Algumas medidas como janela e cortina antirruído e protetores auriculares tentaram ser implementados pela moradora, porém sem o efeito adequado. A solicitação é para que o condomínio realize o pagamento por danos morais e instale piso emborrachado no ambiente, visando a mitigação do problema. Ao final do processo, ficou definido o pagamento pelo condomínio do valor de R\$ 3.747,74 referente aos ressarcimentos pelos gastos da autora e de R\$ 3.000,00 referente a danos morais, além da suspensão das atividades no ambiente até a instalação do piso emborrachado.

Esse caso exemplifica a importância do isolamento acústico e a necessidade de se buscar o correto desempenho da edificação desde a etapa de projeto, buscando diminuir incômodos e custos, que são sempre mais elevados em uma etapa pós-obra.

### 3.2 ALTERNATIVAS PARA MELHORAR O ISOLAMENTO

O estudo da transmissão do ruído de impacto é muito importante, pois, é um fator de que causa grande incômodo aos moradores das edificações. Segundo Parise (2018), a curva do nível de pressão sonora de impacto padrão normalizado pode ser dividido em diferentes regiões dentro do espectro de frequência, onde algumas características dos elementos de compartimentação determinam a transmissão, tais como: rigidez do elemento, amortecimento interno do material e massa superficial.

A rigidez do elemento possui pouca ou nenhuma ou influência sobre o conforto acústico. O aumento da massa superficial dos materiais, obtido através do aumento da espessura dos elementos, representar um fator significativo de melhora no isolamento, já que, segundo Bistafa (2001), para lajes de concreto maciço o aumento de 1 cm na sua espessura representa um aumento de 1 dB isolamento. Porém, devido ao aumento na carga do edifício e consequente aumento de custos, é uma solução muito pouco utilizada no mercado de forma geral.

O amortecimento interno dos materiais também apresenta um papel fundamental no isolamento acústico dos materiais, visto que, segundo Sousa (2008), elementos com coeficiente de amortecimento interno maior apresentar menor transmissibilidade, o que permite a dissipação da energia mecânica em forma de calor. É nesse conceito que se baseiam as principais alternativas de isolamento acústico.

Pires (2022) elenca alternativas existentes que buscam desassociar a camada de piso que sofre impacto dos demais sistemas, tais como:

- Forros preenchidos com material isolante no ambiente receptor;
- Aumento da espessura da laje;
- Instalação de acabamento de piso com materiais elásticos/resilientes
- Contrapiso flutuante.

Os forros preenchidos com material isolante não é a alternativa mais indicada em função de, segundo Santos (2012), não bloquear a transferência das vibrações das lajes para as paredes, que oferecem o caminho para a transmissão dos ruídos marginais.

O aumento da espessura da laje foi citado anteriormente, como sendo uma alternativa pouco utilizada em função do alto custo envolvido, a não ser que seja por um motivo estrutural, caso de lajes nervuradas ou lajes de concreto armado com espaçamento grande entre vigas.

A instalação de acabamentos de pisos com materiais resilientes é baseada na capacidade do material absorver a energia quando solicitado e liberá-la quando descarregado. De acordo com Bistafa (2001), nesse processo, parte da energia é transformada em calor pelo atrito interno que vem do amortecimento do material. É uma alternativa eficiente de isolamento, mas que é muito variável de acordo com o tipo de acabamento a ser utilizado, conforme indica a Quadro 4 abaixo:

**Quadro 4** - Valores de redução ponderada do nível de pressão sonora para materiais elásticos de revestimento

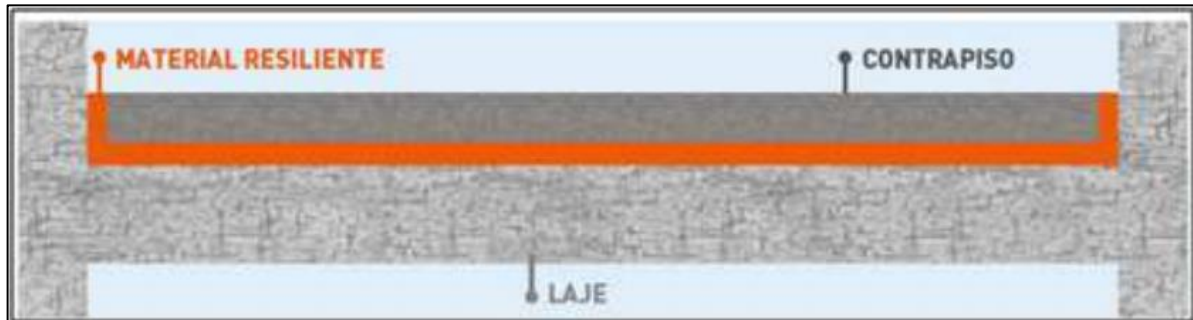
<b>Revestimento de Pisos</b>	<b><math>\Delta - \text{dB(A)}</math></b>
Borracha	2,5 a 13,9
Sintéticos	1,3 a 3,0
Carpets	7,6 a 27,7
Carpets com base isolante	33 a 39,1
Laminado de madeira flutuante	11
Laminado de madeira flutuante com tapete	22,4 a 30,2

Fonte: Machimbarrena e Rasmussen (2016)



De acordo com Pires (2022), o sistema de contrapiso flutuante é o sistema mais utilizado no Brasil visando o isolamento do ruído de impacto. Conforme (Santos, 2012) a solução é a que apresenta o melhor desempenho e a maior durabilidade. O sistema de contrapiso flutuante consiste na colocação de uma camada de material resiliente, com alto coeficiente de amortecimento interno, entre a laje estrutural e a camada de contrapiso, conforme Figura 6:

**Figura 6** - Sistema de contrapiso flutuante



Fonte: Manual Proacústica (2015)

Apesar de ser considerado o sistema mais eficiente, de acordo com Bistafa (2011) ele depende fundamentalmente da qualidade de sua execução, pois caso ocorram ligações rígidas, ou seja, pedaços sem manta acústica ou elementos rígidos fazendo conexão, o desempenho pode ser comprometido. O nível de desempenho objetivado também deve levar em consideração a correta especificação do material da camada resiliente.

## 4 ESTUDO DE CASO: CARACTERÍSTICA DO EMPREENDIMENTO

Neste capítulo, serão abordadas as principais características da empresa responsável pela execução do contrapiso do empreendimento em questão, bem como seus controles internos de qualidade e gestão. Também serão apresentados detalhes e informações sobre a obra.

O empreendimento imobiliário de alto padrão, em estudo, foi concebido e executado por uma empresa tradicional de Porto Alegre, RS. A empresa tem seu foco de atuação no mercado de alto padrão. Desde 2001, é certificada pela ISO 9001 e certificada pelo PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na Habitação) com nível A.

### 4.1 O EMPREENDIMENTO

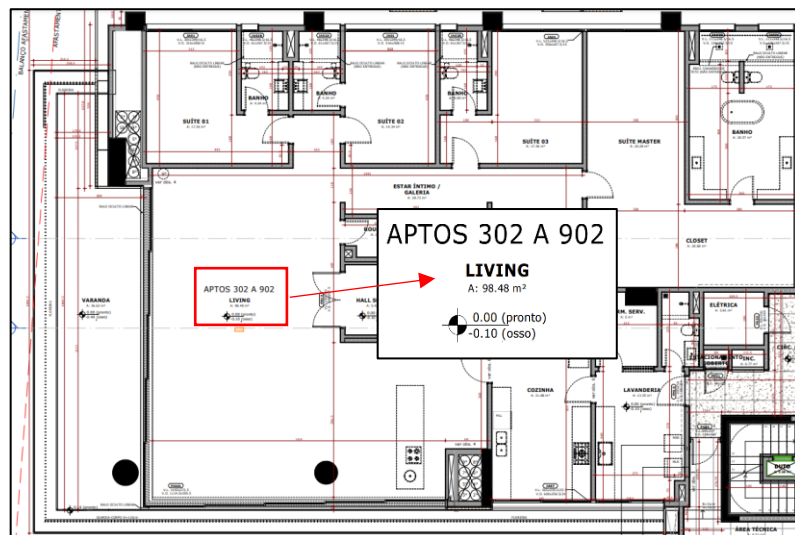
O empreendimento escolhido para análise do desempenho acústico de seu sistema de pisos, é composto por 1 torre residencial com 17 pavimentos, mais cobertura e 1 subsolo. Do 2º ao 9º pavimentos o empreendimento é composto por dois apartamentos, de 387 m<sup>2</sup> e 455 m<sup>2</sup>, do 10º ao 17º é composto por apartamentos unificados com 853 m<sup>2</sup> de área privativa, totalizando 24 unidades privativas. O pavimento térreo contempla as áreas comuns do empreendimento: área *fitness*, *gourmet*, *pet place*, brinquedoteca, quadra poliesportiva, piscina externa, bosque e quadra de tênis. No subsolo estão localizados as áreas técnicas e o estacionamento, que totalizam 139 vagas privativas e 38 vagas de visitantes. Totalizando assim, uma área construída de 23.106,00 m<sup>2</sup>, sendo 13.513,61 m<sup>2</sup> de área privativa, em um terreno de 7.730,30 m<sup>2</sup>.

O sistema construtivo é o convencional, com estrutura de concreto moldado “in loco” e vedações internas e externas em alvenaria com blocos cerâmicos com blocos modulares. Devido ao padrão do empreendimento, os proprietários possuem grande liberdade de personalização dos apartamentos, dessa forma, a estrutura foi dimensionada com esse fim. Os pavimentos tipo possuem vigas apenas em lugares específicos, como a periferia da torre, hall social e área de circulação de serviço, sendo o restante do pavimento composto apenas por laje sem vigas intermediárias. Essas lajes possuem a espessura de 27 cm, com uma taxa de armadura de aproximadamente 120 kg/m<sup>3</sup>, para permitir a personalização por parte dos clientes.

A fachada é composta por um misto de estrutura em concreto aparente, com concreto pigmentado e formas revestidas em madeira pinus com tábuas paginadas, e brises móveis em alumínio. Atrás dos brises, o revestimento externo é revestido com textura e pintura emborrachada.

A concepção do edifício se deu já tendo como proposta a possibilidade de grandes personalizações por parte dos clientes. Isso faz com o que no próprio projeto padrão do empreendimento não tenha informações sobre o acabamento que será considerado em cada local, pois o escopo padrão da obra é entregar ao cliente em estado bruto, isto é, direto no revestimento de argamassa e contrapiso, sem colocação de louças, metais, bancadas ou cubas.

**Figura 7 - Planta baixa de um apartamento padrão final 02**

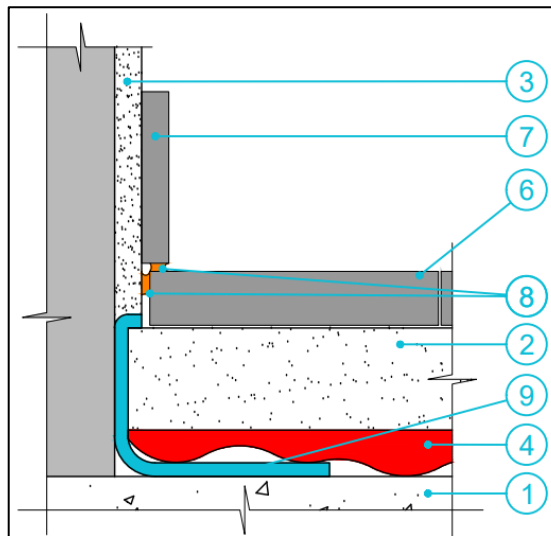


Fonte: projeto arquitetônico

## 4.2 SISTEMA DE PISO PROJETADO

Como solução para isolamento acústico entre unidades habitacionais, o empreendimento em questão está projetado prevendo o uso do sistema de contrapiso flutuante, com espessura total de 10 cm entre a laje osso e o piso acabado. Um corte do sistema está representado na Figura 8.

**Figura 8** - Detalhe das camadas do sistema de piso projetado



Fonte: projeto acústico

Onde:

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1 – Laje estrutural do edifício; | 6 – Piso acabado desvinculado da alvenaria; |
| 2 – Contrapiso armado;           | 7 – Rodapé;                                 |
| 3 – Revestimento de parede;      | 8 – Vedação com silicone;                   |
| 4 – Manta ondulada acústica;     | 9 – Manta autoadesiva (rodapé acústico).    |
| 5 – Alvenaria;                   |   |

O projeto fornece algumas opções de fornecedores conhecidos do mercado da construção civil, que já possuem produtos com qualidade reconhecida e laudos comprovando o seu desempenho, para o fornecimento da manta ondulada acústica e da manta autoadesiva. Sendo eles:

- Para a manta ondulada acústica:  $\Delta L_w \geq 27 \text{dB}$ , REF: “Regufoamsound” da BSW, “Floor mat33” da Getzner, “Soundsoft” da Aubicon;
- Para a manta autoadesiva (rodapé acústico): Esp=5mm Tipo “Joong Protection” da Joong Bo, “Multimpact” da Multinova ou “Promalaje” da Promaflex.

A Figura 8 apresenta os elementos que compõem o sistema de piso de uma forma genérica, sem representar, em escala, a espessura de cada camada. Através dos projetos arquitetônicos é possível obter as informações necessárias de níveis, chegando-se assim à espessura média de contrapiso. A Figura 8 apresenta a diferença entre o nível do piso osso (laje bruta) e piso pronto, que é de 10 cm, como padrão no empreendimento.

A espessura da argamassa do contrapiso pode variar em função de fatores como o nivelamento da laje, onde pequenas variações são permitidas e em função do tipo de revestimento a ser adotado pelo cliente. Por exemplo, em caso de o proprietário do apartamento optar por um piso em pedra natural com espessura de 2 cm, o contrapiso é deixado com 3 cm (2cm de pedra e 1 cm de argamassa colante) abaixo do nível do piso pronto para posterior colocação do revestimento. Já em caso de carpete a espessura pode variar conforme a especificação, mas como uma média podemos considerar 5 mm. No caso da instalação de carpete é deixada apenas a espessura do mesmo, ou seja, 5 mm abaixo do piso pronto.

Com esses dois exemplos de revestimento de piso distintos é possível verificar a variação na espessura do contrapiso a ser entregue para o cliente. Considerando que a espessura da manta acústica especificada é de 17 mm nas partes mais espessas e de 8 mm nas partes mais finas, e que a maior espera para piso do cliente é de 3 cm e a menor é de 0,5 cm, a espessura de argamassa de contrapiso na obra varia entre 5,3 cm a 7,8 cm.

O projeto de acústica apresenta um detalhe em que não é especificado a distância que a manta deve ser virada na laje. A obra adotou como padrão 5 cm, o que fez com que fosse necessário o aumento da quantidade de rodapé acústico, devido à diversos ambientes terem a previsão de instalação de revestimento de piso em carpete, fazendo com que a altura do contrapiso tenha 7,8 cm. Ainda deve-se considerar a dobra do rodapé acima do contrapiso, conforme Figura 8, de em média 2,5 cm. Dessa forma,  $5 \text{ cm} + 7,8 \text{ cm} + 2,5 = 15,3 \text{ cm}$ .

Como o rodapé possui a largura de apenas 15 cm, fez-se necessário a utilização de um complemento de rodapé colocado sobre o rodapé originalmente colocado para que existisse a sobra acima do contrapiso. Optou-se pela colocação de mais meio rodapé, ou seja, realizou-se o corte de alguns rodapés para realizar a colocação extra, ocasionando assim um consumo maior que o previsto originalmente em 50%.

Os itens 6, 7 e 8, piso, rodapé e silicone respectivamente, representam elementos que não são entregues pela construtora ao cliente, ficando a cargo do proprietário a execução do mesmo após o recebimento da unidade. Como o rodapé acústico possui a indicação de ficar sob o revestimento de parede, é importante notar que o elemento que faz a separação física entre o revestimento de piso e o de parede é a vedação com silicone. Essa vedação possui a função de permitir a movimentação e dilatação térmica do piso e de ser uma camada de isolamento

acústico, para que os impactos no piso acabado não passem para a vedação vertical, dela para a laje estrutura e desta para o apartamento inferior.

Dessa forma, é fundamental que a informação sobre a necessidade de realizar o assentamento do piso com a vedação de silicone nos perímetros seja repassada ao cliente através do manual do proprietário, pois a falta dessa vedação pode vir a prejudicar o apartamento logo abaixo.

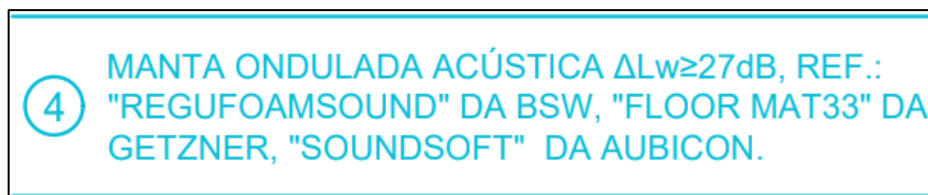
### 4.3 MATERIAIS ESPECIFICADOS

A seguir serão apresentados os materiais utilizados na empreendimento, seguindo o especificado em projeto, e apresentados seus laudos com a comprovação do seu desempenho.

#### 4.3.1 MANTA ONDULADA ACÚSTICA

O sistema de isolamento acústico horizontal entre unidades especificado no projeto de acústica, como já citado, foi o contrapiso acústico flutuante, composto por manta acústica ondulada, conforme Figura 9.

**Figura 9** - Especificação de mantas acústicas do projeto de acústica



Fonte: projeto de acústica

Dentre as opções fornecidas pelo projeto, foi escolhida uma manta pré-fabricada ondulada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano com alturas variadas entre 17 mm e 8 mm e densidade de  $600 \text{ kg/m}^3$ , a Soundsoft da Aubicon.

A manta é em placas de 1,00 x 1,00 metro e é entregue palletizada, com 80 placas, ou seja, possui  $80 \text{ m}^2$  por pallet. Segundo o fabricante, a manta possui vida útil de projeto superior a 20 anos, se enquadrando assim no nível superior da NBR 15575 (ABNT, 2021) referente ao revestimento de piso interno.

#### 4.3.1.1 RELATÓRIO DE ENSAIO

O fornecedor da manta disponibilizou à empresa executante, conforme orientado pelo Plano de Controle Tecnológico (PCT) de materiais da empresa, o relatório de ensaio executado com o objetivo de determinar o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $L_{n,w}$ ) e a diferença do nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $\Delta L_{n,w}$ ).

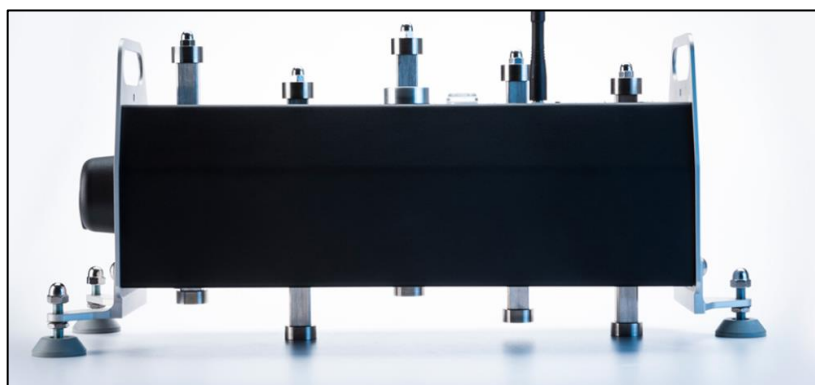
O ensaio seguiu as especificações das seguinte NBR 15575 (ABNT, 2021):

- ISO 10140-3:2010 – Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation;
- ISO 717-2:2013 – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 2: Impact sound insulation;
- ISO 10140-5:2010 – Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment.

O ensaio foi realizado em um pano de 4,46 x 4,35 metros com uma laje com 12 cm de espessura de concreto maciço com a manta aplicada sobre ela, cobertos com uma camada de contrapiso armado de 5 cm. Essa configuração não é idêntica à existente em obra, porém, como as espessuras, tanto de laje quanto de contrapiso, são menores (na edificação em questão temos 27 cm de laje e entre 5,3 cm a 7,8 cm de contrapiso), considerou-se que o teste pôde ser aceito.

Os equipamentos utilizados foram microfone, pré-amplificador, analisador sonoro, fonte sonora dodecaédrica, calibrador acústico, *tapping machine*, trena, amplificador de potência, termohigrômetro.

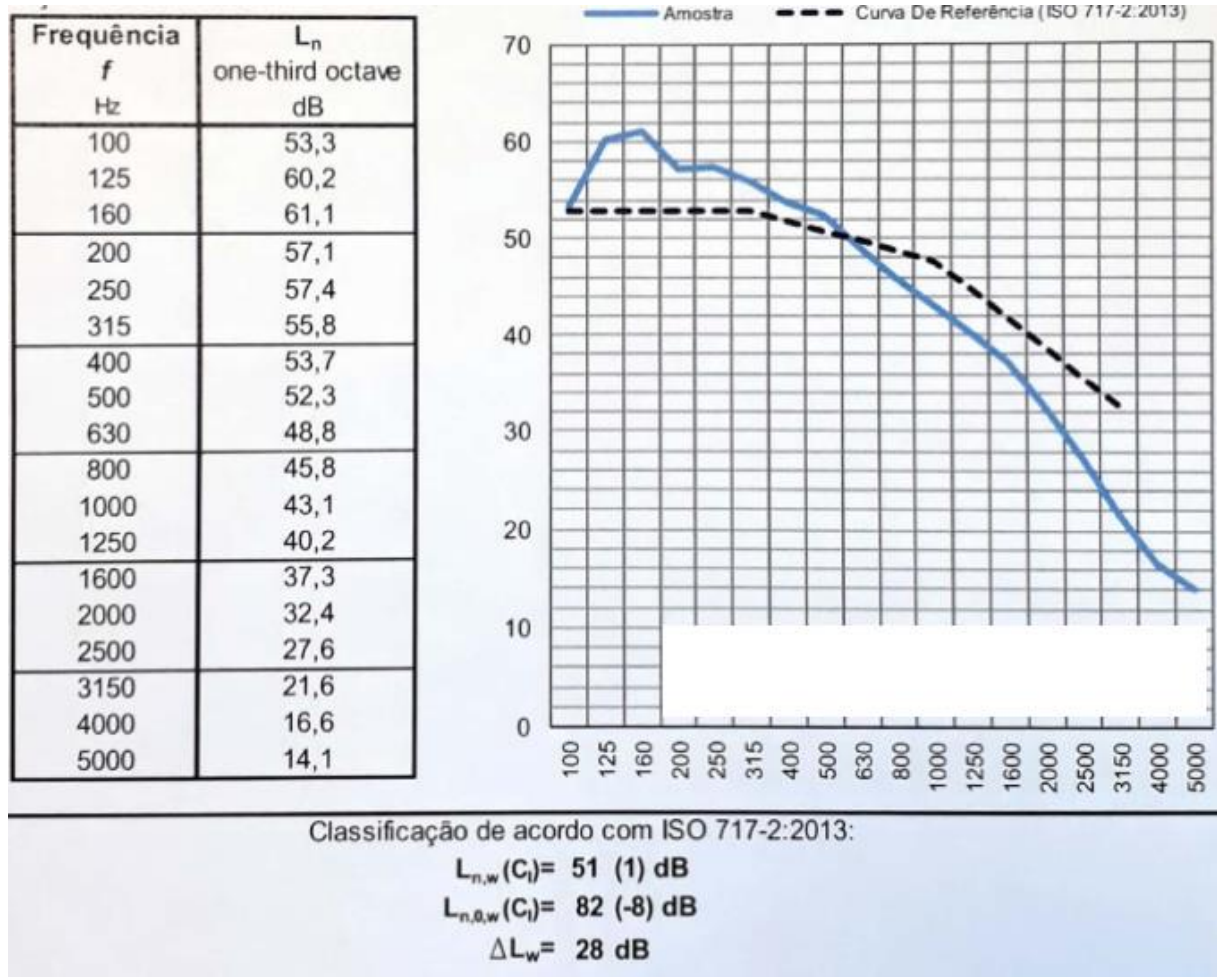
**Figura 10** - Exemplo de máquina utilizada em realização de teste acústico do sistema de piso



Fonte: NTI Áudio

Como resultado, verificou-se o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $L_{n,w}$ ) de 51 dB e diferença de nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $\Delta L_{n,w}$ ) de 28 dB, conforme Figura 11.

**Figura 11** - Resultados do ensaio da manta ondulada



Fonte: Fornecido pelo fabricante

Considera-se, então, que o ensaio demonstrou o cumprimento do material quanto ao desempenho esperado conforme parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2021). Tais parâmetros estão na Tabela E.1 da NBR 15575-3 (ABNT, 2021), conforme Quadro 3.



### 4.3.2 RODAPÉ ACÚSTICO

O projeto de detalhamento de acústica especifica a utilização de uma manta acústica no piso, conforme descrito no item anterior, e um tipo de rodapé diferente, conforme a Figura 12.

**Figura 12** - Especificação de rodapé do projeto de acústica



Fonte: projeto de acústica

Dentre as opções fornecidas pelo projeto, foi escolhida uma manta autoadesiva polietileno expandido de baixa densidade com filme personalizado de alta densidade em uma face, espessura de 5 mm e densidade de 20 kg/m<sup>3</sup>, a Multimpact da Multinova.

#### 4.3.2.1 RELATÓRIO DE ENSAIO

O fornecedor do rodapé disponibilizou à empresa executante, conforme orientado pelo Plano de Controle Tecnológico (PCT) de materiais da empresa, o relatório de ensaio executado com o objetivo de determinar o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $L_{n,w}$ ) e a diferença do nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $\Delta L_{n,w}$ ).

O ensaio seguiu as especificações das seguinte NBR 15575 (ABNT, 2021):

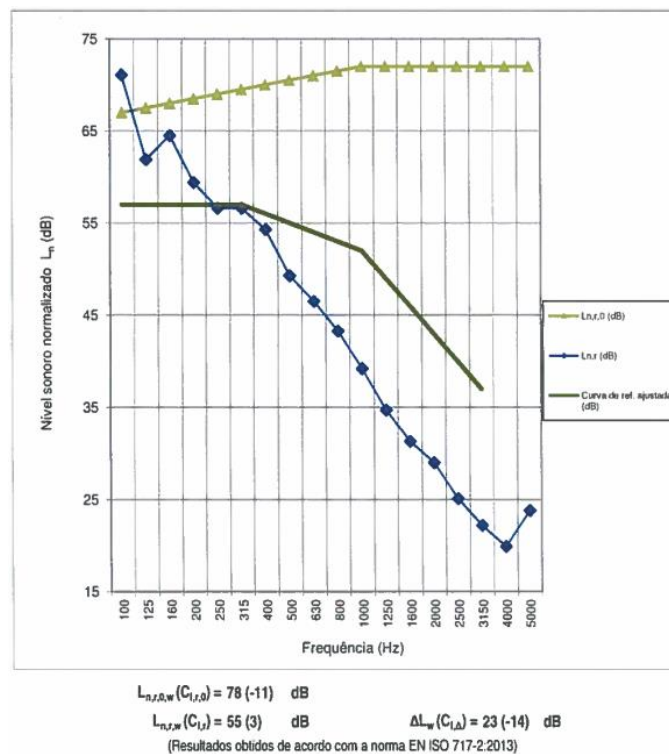
- ISO 10140-1:2010 – Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 1: Application rules for specific products;
- ISO 10140-3:2010 – Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation;
- ISO 10140-4:2010 – Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 4: Measurement procedures and requirements
- ISO 717-2:2013 – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 2: Impact sound insulation;

O ensaio foi realizado em um pano de 3,16 x 3,16 metros com uma laje com 14 cm de espessura de concreto maciço com a manta aplicada sobre ela, cobertos com uma camada de contrapiso armado de 5 cm. Novamente como no item anterior, a configuração não é idêntica à existente em obra, porém, como as espessuras, tanto de laje quanto de contrapiso, são menores considerou-se que o teste pôde ser aceito.

Os equipamentos, da mesma forma ao ensaio da manta acústica, foram de acordo com as normas citadas e calibrados, conforme consta no Relatório de Ensaio.

Como resultado, verificou-se o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $L_{n,w}$ ) de 55 dB e diferença de nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ( $\Delta L_{n,w}$ ) de 23 dB, conforme Figura 13.

**Figura 13** - Resultado do ensaio do rodapé acústico



Fonte: Fornecido pelo fabricante

Considera-se, então, que o ensaio demonstrou o cumprimento do material quanto ao desempenho esperado conforme parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2021). Tais parâmetros estão na Tabela E.1 da NBR 15575-3 (ABNT, 2021), conforme Quadro 3.

## **5 ANÁLISE CRÍTICA DOS PROJETOS E DOCUMENTOS DISPONÍVEIS PARA EXECUÇÃO DO CONTRAPISO FLUTUANTE**

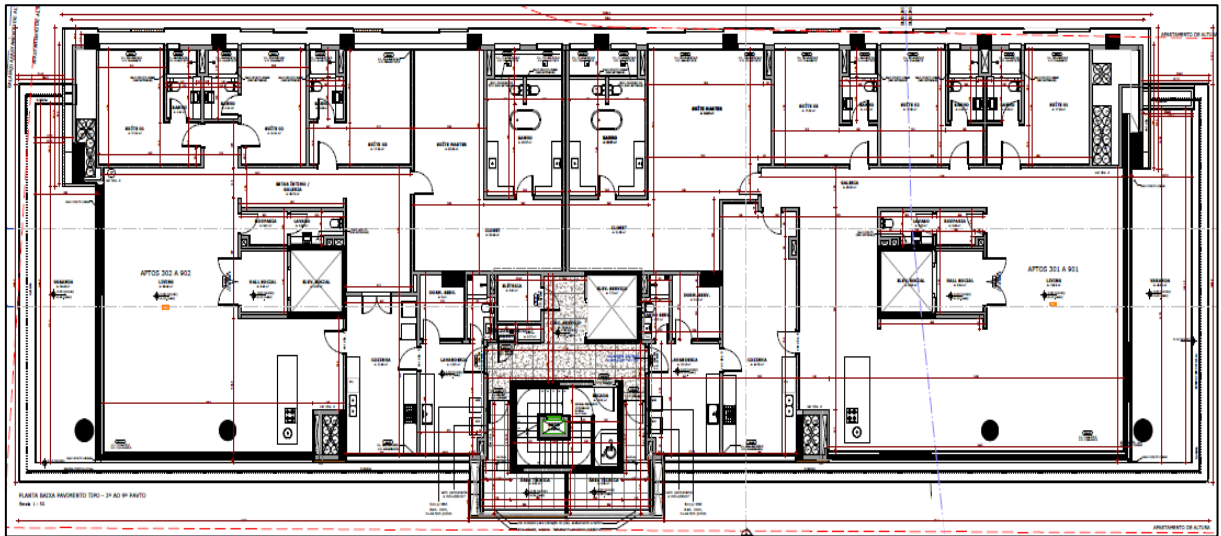
Os projetos devem conter informações suficientes para a compra de material, orçamento executivo e contratação de mão de obra, acompanhamento pela engenharia da obra e entendimento da empresa executora. Os utilizados como referência para a execução do contrapiso flutuante são os projetos arquitetônicos, projeto de acústica, projeto de juntas de dilatação, projeto de impermeabilização e projeto elétrico.

Cabe ressaltar que, neste empreendimento, parte das disciplinas foram desenvolvidas em plataformas BIM (*Building Information Modeling*), porém, como apenas parte das disciplinas se utilizaram do BIM e, mesmo as que a utilizaram, não realizaram a compatibilização necessária. Dessa forma, o modelo BIM serviu como apoio para análises volumétricas do empreendimento, mas sendo necessário recorrer ao 2D tradicional para a análise dos projetos específicos.

O projeto arquitetônico é a base para todos os demais projetos de uma obra. Segundo Odebrecht (2006), a função da arquitetura é “resolver problemas de ordem funcional e de ordem estética, observando o contexto em que se inserem, tanto o físico, como o cultural, o socioeconômico e o tecnológico”, sendo o projeto arquitetônico a materialização da concepção. Ele não tem como objetivo fornecer todos os detalhes para os responsáveis pela execução. Ele deve fornecer forma, dimensões e conceitos da edificação para que os demais sistemas executem seus projetos específicos sempre com base no projeto arquitetônico.

A disposição dos cômodos dos apartamentos, por exemplo, é de extrema importância para a definição dos locais em que deve haver o sistema de tratamento acústico no piso. Em geral, os empreendimentos costumam priorizar as áreas de dormitórios e demais áreas mais nobres, como salas de estar e de jantar para a colocação de manta acústica sob o contrapiso, ficando essa indicação mais específica a cargo do projeto acústico e do memorial descritivo executivo.

**Figura 14** - Planta baixa arquitetônica do pavimento tipo



Fonte: projeto arquitetônico

Os projetos de detalhamentos de ambientes podem ser considerados um subgrupo do projeto arquitetônico. Os detalhamentos detalham, em geral, itens como paginação de pisos, especificação de materiais (pisos, bancadas, louças, metais e etc) e medidas. Referente ao caso do piso, os projetos de detalhamento de ambientes nos fornecem as dimensões de peças, diferentes tipos de acabamento que cada peça irá ter, juntas de movimentação, localização de ralos e demais detalhes pertinentes à execução. Porém, como já citado no item 4.2 – O Empreendimento, o edifício são entregue no estado bruto ao cliente, acarretando na falta desses tipos de detalhamento pelo projeto padrão.

O projeto acústico é o responsável por fornecer as informações necessárias quanto à especificação dos materiais, locais onde devem ser aplicados para que a obra tenha o desempenho esperado e os detalhes executivos para a correta execução.

No projeto do empreendimento, considerando-se como objeto de análise o apartamento tipo, o projetista separou em 5 sistemas: piso, parede, portas (tanto de madeiras quanto de alumínio), forros e equipamentos. Dentro desses sistemas, foi considerada a exigência de alguma especificação necessária ou a soma delas.

Figura 15 - Sistemas e especificações de desempenho acústico

PISO		
1	PI-01	LAJE - $R_w \geq 63dB$ E $L_n, w \geq 68d_w$ LAJE DE CONCRETO COM ESPESSURA MÍNIMA DE 27cm E DENSIDADE MÍNIMA DE 2.400kg/m <sup>3</sup> .
A	PI-A	CONTRAPISO FLUTUANTE - $\Delta L_w \geq 27dB$ E $\Delta R_w \geq 2dB$ PISO ISOLANTE EM DRYWALL COM DUAS PLACAS CIMENTÍCIAS DE 12mm DE CADA LADO + MONTANTES DE 90mm TOTALMENTE PREENCHIDOS COM MANTA DE LÃ DE ROCHA (DENS. $\geq 32kg/m^3$ ), ESP. $\geq 90mm$ . ESP. TOTAL $\geq 14cm$
PAREDE		
1	PA-01	PAREDE DE ALVENARIA - $R_w \geq 47dB$ PAREDE EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO, COM ESPESSURA MÍNIMA DE 19cm (MASSA MÍNIMA DE 7,5kg/BLOCO), REVESTIDOS COM REBOCO DE 3cm DO LADO EXTERNO E 1,5cm DO LADO INTERNO.
2	PA-02	PAREDE DE ALVENARIA - $R_w \geq 42dB$ PAREDE EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO, COM ESPESSURA MÍNIMA DE 14cm (MASSA MÍNIMA DE 6,3kg/BLOCO), REVESTIDOS COM REBOCO DE 1,5cm DOS DOIS LADOS.
PORTAS		
1	PO-01	PORTA - $R_w \geq 35dB$ PORTA ACÚSTICA DE MADEIRA SÓLIDA OU SANDUICHADA COM ESPESSURA TOTAL DE 55mm E SISTEMA "DE ABRIR", COM BATENTES DUPLOS DE MADEIRA, DUPLA VEDAÇÃO PERIMÉTRICA EM GAXETAS ACÚSTICAS DE BORRACHA E SELO ACÚSTICO DE SOLEIRA. REFERÊNCIA PORTA: "SPEED DRY", "WALLSYSTEM" OU "ISAR"; REFERÊNCIA SELO: "SCHALL-EX ULTRA", DA HAFELE.
A	ES-A	ESQUADRIAS - $R_w \geq 33dB$ ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO COM ATÉ DUAS FOLHAS DE VIDRO INSULADO DE 24mm. REF.: LINHA "TROPTEC AS395C.SF", DA SCHUCO.
B	ES-B	ESQUADRIAS - $R_w \geq 25dB$ ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO COM ATÉ DUAS FOLHAS DE VIDRO COMUM DE 4mm. REF.: LINHAS "MOSCATO" OU "IDEALE", DA ESAF.
C	ES-C	ESQUADRIAS - $R_w \geq 35dB$ ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO COM ATÉ DUAS FOLHAS DE VIDRO INSULADO DE 26mm. REF.: LINHA "ASS 50", DA SCHUCO.
FORROS		
1	FO-01	FORRO MODULAR - $\alpha_w \geq 0.80$ FORRO MODULAR FONOABSORVENTE EM PAINEL DE FIBRA MINERAL REF: "BRILLIANTO A" DA OWA DO BRASIL, "THERMATX ALPHA HD" DA AMF/KNAUF OU "PERLA OP" DA ARMSTRONG.
2	FO-02	NUVEM ACÚSTICA - $\alpha_w \geq 0.70$ NUVENS ACÚSTICAS. REF.: "SOLO", DA ISOVER/ECOPHON, "HERADESIGN" DA AMF/KNAUF, "SOUNDSCAPES" DA ARMSTRONG OU "VELA" DA OWA DO BRASIL.
EQUIPAMENTOS		
1	EQ-01	ENVELOPAMENTO DE DUTOS ENVELOPAMENTO DE DUTO DE AR CONDICIONADO COM 2 CHAPAS DE GESSO ACARTONADO TIPO STANDARD, ESP.: 12,5mm CADA E REVESTIMENTO INTERNO DO DUTO EM PAINÉIS DE LÃ DE VIDRO RÍGIDA REF.: "CLIMAVER" OU "FLEXLINER" DA ISOVER.
2	EQ-02	REVESTIMENTO DE DUTOS REVESTIMENTO INTERNO DO DUTO EM PAINÉIS DE LÃ DE VIDRO RÍGIDA REF.: "CLIMAVER" OU "FLEXLINER" DA ISOVER.
3	EQ-03	EVAPORADORAS EVAPORADORAS SUSPENSAS POR HANGERS ANTIVIBRATÓRIOS. REF.: VIBTECH, VIBRANIHIL OU GERB. NOTA: OS EQUIPAMENTOS DEVEM POSSUIR LIMITAÇÃO DE RUÍDO MÁXIMO DE 45dB(A) A 1m, OU ATENDER AO NÍVEL DE RUÍDO MÁXIMO REFERENTE A CADA AMBIENTE, COMO INDICADO PELA NORMA ABNT NBR 10152:2017.
4	EQ-04	VENTILADORES/EXAUSTORES VENTILADORES SUSPENSOS POR HANGERS ANTIVIBRATÓRIOS. REF.: VIBTECH, VIBRANIHIL OU GERB. NOTA: OS EQUIPAMENTOS DEVEM POSSUIR LIMITAÇÃO DE RUÍDO MÁXIMO DE 50dB(A) A 1m, OU ATENDER AO NÍVEL DE RUÍDO MÁXIMO REFERENTE A CADA AMBIENTE, COMO INDICADO PELA NORMA ABNT NBR 10152:2017.

Fonte: projeto de acústica

Mais especificamente no caso sistema de pisos, o projeto de planta baixa do pavimento tipo tem os seguintes itens considerados:

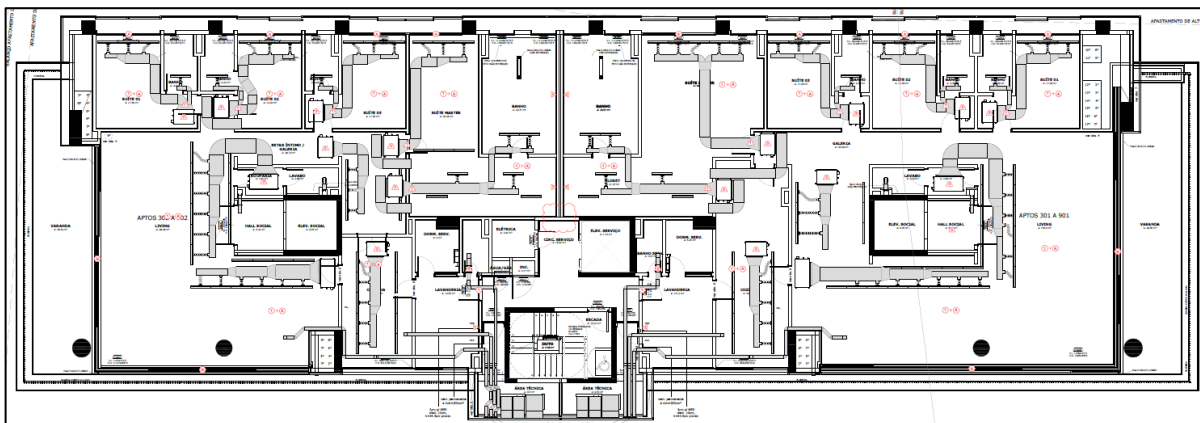
**Figura 16** - Especificações do projeto acústico para sistema de pisos

PISO		
①	PI-01	LAJE - $R_w \geq 63\text{dB}$ E $L_n, w \geq 68\text{dB}$ LAJE DE CONCRETO COM ESPESSURA MÍNIMA DE 27cm E DENSIDADE MÍNIMA DE 2.400kg/m <sup>3</sup> .
Ⓐ	PI-A	CONTRAPISO FLUTUANTE - $\Delta L_w \geq 27\text{dB}$ E $\Delta R_w \geq 2\text{dB}$ PISO ISOLANTE EM DRYWALL COM DUAS PLACAS CIMENTÍCIAS DE 12mm DE CADA LADO + MONTANTES DE 90mm TOTALMENTE PREENCHIDOS COM MANTA DE LÃ DE ROCHA (DENS. $\geq 32\text{kg/m}^3$ ), ESP. $\geq 90\text{mm}$ . ESP. TOTAL $\geq 14\text{cm}$

Fonte: projeto de acústica

A Figura 16 representa a legenda que é apresentada na planta baixa do projeto, que indica na planta baixa os locais onde devem ser aplicados os isolamentos e tratamentos acústicos:

**Figura 17** - Planta baixa do projeto arquitetônico



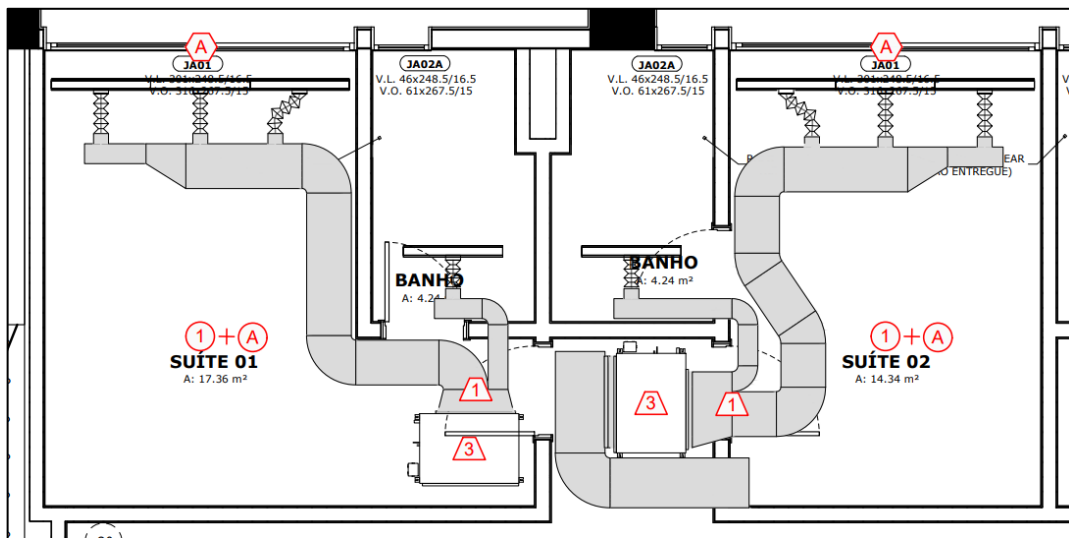
Fonte: projeto de acústica

O objetivo desta planta, demonstra-se, portanto, a identificação de quais áreas deverão ou não receber os tratamentos acústicos indicados na legenda. Ficando a cargo da planta de detalhamento do projeto de acústica a especificação dos materiais e detalhes executivos, conforme demonstrado na Figura 15, onde foi discutido sobre o sistema de piso. Olhando mais especificamente para as áreas das suítes, nota-se a diferenciação de especificação entre a área do dormitório e a área do banho, onde o primeiro possui o sistema laje de concreto maciça + contrapiso flutuante enquanto o segundo apresenta apenas a laje maciça (apesar do projeto não representar o símbolo no ambiente, entende-se por lógica que a laje segue com a mesma especificação), conforme Figura 18.

Pelo nível de padrão do empreendimento, voltado às classes mais abastadas, e pelo alto valor das unidades, se entende que a melhor alternativa seria a colocação do sistema de isolamento acústico em todos os ambientes dos apartamentos. Porém, como uma escolha da incorporado e premissa de projeto, seguiu-se a execução conforme o projeto origina, mesmo que em alguns ambientes haja margem para um desempenho inferior aos demais.

Em cinza claro, a planta representa os dutos de ar condicionado central, que também possui especificação de isolamento acústico.

**Figura 18** - Exemplo de locais indicados em projeto para tratamento acústico



Fonte: projeto de acústica

O projeto não fornece ao leitor as legendas dos critérios exigidos, não explicando o que são os termos  $R_w$  e  $L_{n,w}$ . Essa falta de informação pode ser um impeditivo ao setor de suprimentos no momento de realizar a compra do material. Esses termos podem ser melhor entendidos utilizando NBR 15575 (ABNT, 2021), onde já explicado sobre o  $L_{n,w}$  no item Sistema de Pisos. O termo  $R_w$  referente ao índice de redução sonora ponderado referente a Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) que possui seus parâmetros conforme

o

Quadro 5, retirado da parte 4 da norma, não tendo relação direta, portanto, com o sistema de pisos. Podendo então, causar dúvidas ou confusão no momento da compra e negociação do material.



**Quadro 5** - Tabela F11 da NBR 15575 (ABNT, 2021): Índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , de fachadas

<b>Classe de ruído</b>	<b>Localização da habitação</b>	<b><math>R_w</math></b>	<b>Nível de desempenho</b>
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer natureza	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	$\geq 35$	M
		$\geq 40$	I
		$\geq 45$	S

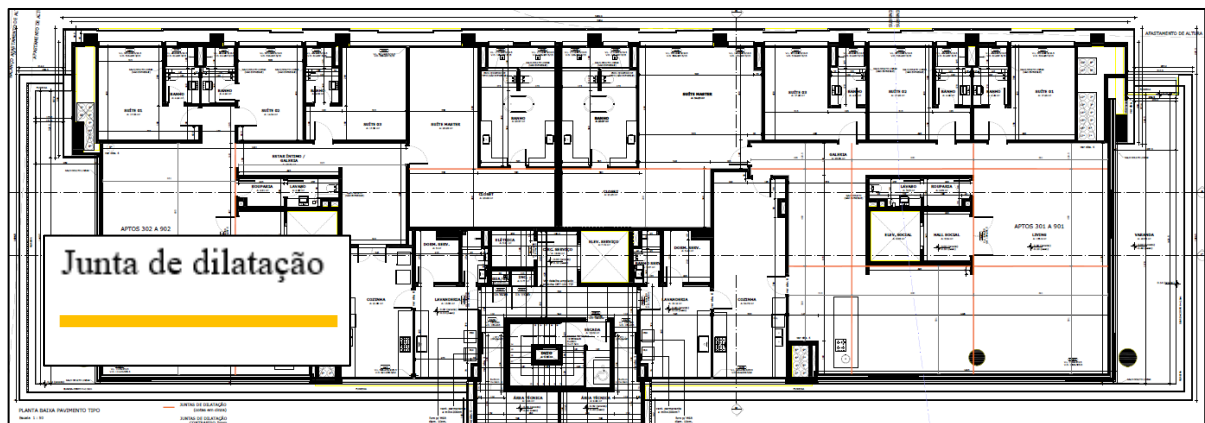
Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

O projeto também possui um equívoco no item A no sistema de pisos. A descrição é “PISO ISOLANTE EM DRYWALL COM DUAS PLACAS CIMENTÍCIAS DE 12mm DE CADA LADO + MONTANTES DE 90mm TOTALMENTE PREENCHIDOS COM MANTA DE LÃ DE ROCHA (DENS.  $\geq 32\text{kg/m}^3$ ), ESP.  $\geq 90\text{mm}$ . ESP. TOTAL  $\geq 14\text{cm}$ ”. Esse descritivo entra em conflito com o projeto de detalhamento de acústica, que mostra as camadas que compõe o contrapiso flutuante, conforme a Figura 8. Por dedução, considerou-se que esse descritivo foi um erro de digitação e segue-se o projeto de detalhamento NBR 15575 (ABNT, 2021).

Quanto aos projetos de juntas, cabe realizar, primeiramente, uma breve explicação sobre a natureza das junta de movimentação e de dilatação. As juntas de movimentação sevem para compartimentar o revestimentos em trechos menores de forma que os materiais possam se movimentar com mais liberdade, para que não ocorram fissuras. Já as juntas de dilatação são juntas especificadas pelo projeto estrutural, ou seja, sua função é para permitir que a estrutura como um todo trabalhe para que sejam evitadas manifestações patológicas, se diferenciando, portanto, das juntas de movimentação de pisos. Porém, como todos documentos, como instruções de trabalhos e projetos se referem às juntas de movimentação como juntas de dilatação, doravante serão tratadas no trabalho apenas como juntas de dilatação.

Os projetos de juntas de dilatação devem fornecer ao executor as cotas e localizações em que devem ser executadas as juntas de dilatação no contrapiso. Essas juntas devem coincidir com o projeto de paginação do apartamento, para que não ocorra descasamento e futuras manifestações patológicas, como fissuras ou deslocamento de pisos. Os panos devem possuir uma limitação em área de 36 m<sup>2</sup>, conforme procedimento interno da empresa. Observa-se, porém, uma área maior de pano de contrapiso do que o indicado, por exemplo, um pano de sala de estar com 39,38 m<sup>2</sup>. Porém, visto o impacto que isso causaria na estética, optou-se por aceitar o pano com a dimensão um pouco superior ao indicado.

**Figura 19 -** Indicações de juntas de dilatação no projeto padrão



Fonte: projeto de juntas de dilatação padrão

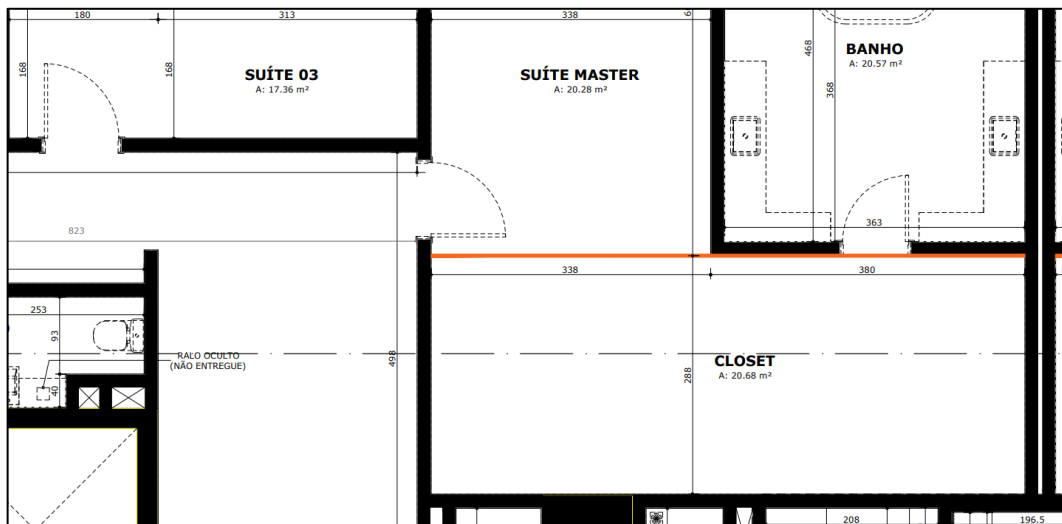
No empreendimento, devido ao fato do projeto já ter nascido com a ideia de total personalização pelo cliente, não existe no memorial descrito qualquer menção a especificação do tipo de revestimento de piso a ser executado. A falta dessa especificação e de projeto de revestimento de piso acarreta a falta de informações necessárias no momento da execução dos contrapisos internos, no que se refere às juntas de dilatação. Dessa forma, os projetos arquitetônicos, que em geral possuem essas informações através dos detalhamentos dos ambientes, indicando as paginações e juntas, não ficaram encarregados de desenvolver o projeto de juntas de dilatação do contrapiso.

Como a execução de juntas de dilatação em panos de contrapiso maior do que 36 m<sup>2</sup> é obrigatória, fez-se necessário o desenvolvimento desse projeto para possibilitar a posterior execução do contrapiso sem a ocorrência de patologias. Essas patologias ocorrem quando não são executadas as juntas de dilatação, ou quando são executadas em desacordo com a paginação do revestimento de piso ou são executadas com dimensões incorretas.

O contrapiso tende a se movimentar em função, principalmente, da variação térmica, dessa forma, é necessário que existam juntas de dilatação para evitar o acúmulo de tensões que provoquem fissuras e posterior deslocamento do revestimento de piso.

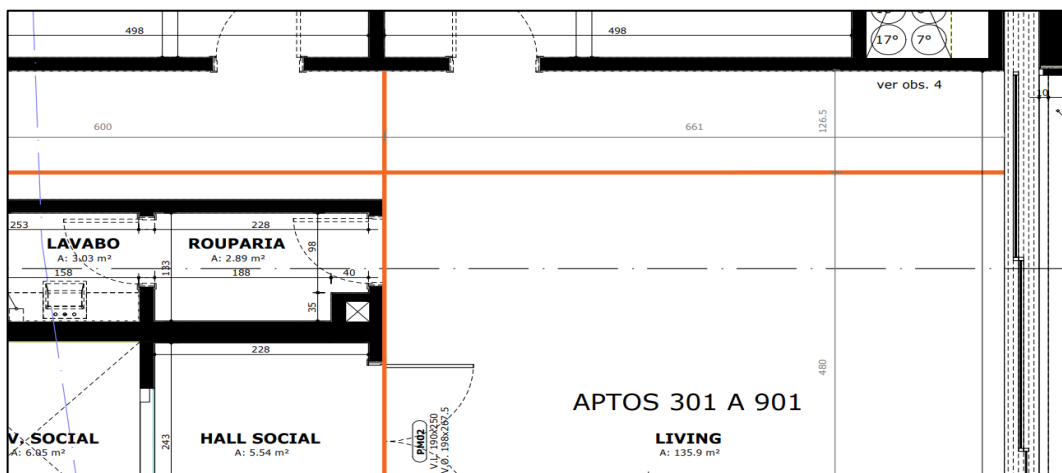
O projeto do empreendimento ficou, então sob responsabilidade do sistema de personalização da empresa, buscando a distribuição das juntas, quando possível, com distâncias em múltiplos de 30 cm, pois as dimensões comerciais de porcelanatos e pedras costumam ser 60x60 cm, 90x90 cm, 120x120 cm, 180x60 cm, 180x90 cm e etc.

**Figura 20** - Exemplo de indicação de junta de dilatação em dormitório



Fonte: projeto de juntas de dilatação padrão

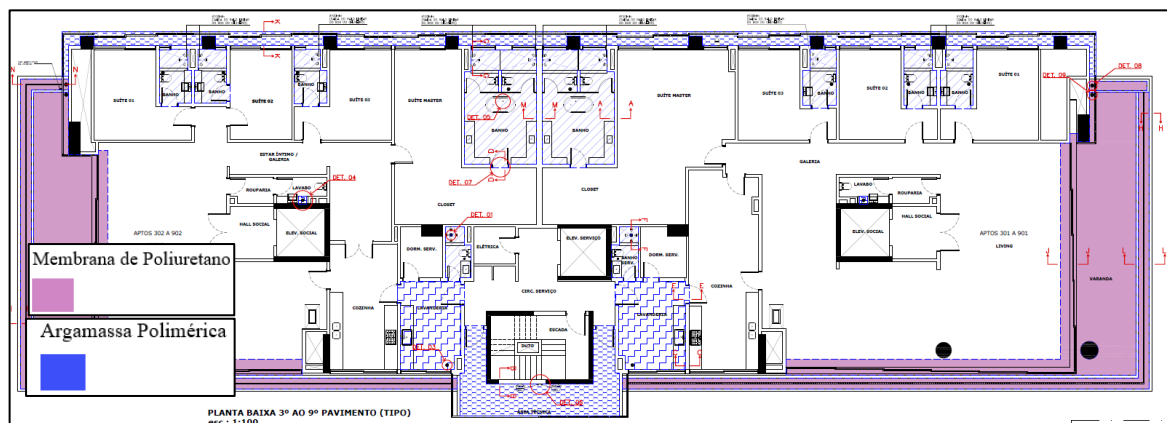
**Figura 21** - Exemplo do projeto de juntas indicando cotas com múltiplos de 30 cm



Fonte: projeto de juntas de dilatação padrão

O projeto de impermeabilização do empreendimento é relevante para a execução do contrapiso flutuante pois, via de regra, áreas impermeabilizadas são as áreas molhadas ou molháveis, portanto, não possuem a previsão de colocação da manta acústica. Havendo apenas 3 exceções, sendo elas o hall social, o lavabo/rouparia e o dormitório de serviço A Figura 22 abaixo detalha os ambientes em que foi considerada impermeabilização:

Figura 22 - Indicação de áreas impermeabilizadas



Fonte: projeto de impermeabilização

A NBR 15575 (ABNT, 2021) define área molha, área molhável e área seca da seguinte forma:

- **Áreas molhadas:** áreas da edificação cuja condição de uso e de exposição pode resultar na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (por exemplo, banheiro com chuveiro, área de serviço e áreas descobertas);
- **Áreas molháveis:** áreas da edificação que recebem respingos de água decorrentes da sua condição de uso e exposição e que não resulte na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (por exemplo, banheiro sem chuveiro, lavabo, cozinha e sacada coberta);
- **Áreas secas:** áreas onde, em condições normais de uso e exposição, a utilização direta de água (por exemplo, lavagem com mangueiras, baldes de água etc.) não está prevista nem mesmo durante a operação de limpeza;

Ponto importante durante o acompanhamento da execução é referente a transição no contrapiso entre áreas com impermeabilizadas e não impermeabilizadas, que está detalhada no projeto de impermeabilização e será tratada em mais detalhes mais a frente.

O memorial descritivo do empreendimento apresenta informações básicas sobre acabamentos e sistemas que serão entregues aos clientes. Ele descreve também o tipo de piso entregue, sendo

nesse caso “Contrapiso e=10 cm com manta acústica Sound Soft contrapiso e=10mm Aubicon”. Nesse documento, é possível constatar a falta de compatibilidade entre o projeto de acústica e o memorial descritivo, pois o projeto acústico não pede manta acústica nos banhos, já o memorial cita a colocação de manta acústica Sound Soft de 10 mm na Aubicon.

**Figura 23** - Exemplo de locais especificados com manta acústica no memorial descritivo

<b>1.2.8. SUÍTES</b>	
<b>PISO</b>	Contrapiso e=10cm com manta acústica Sound Soft contrapiso e=10mm Aubicon
<b>PAREDES</b>	Reboco.
<b>TETO</b>	Laje aparente.
<b>1.2.9. BANHOS SUÍTES</b>	
<b>PISO</b>	Contrapiso e=10cm com manta acústica Sound Soft contrapiso e=10mm Aubicon.
<b>PAREDE</b>	Reboco.
<b>TETO</b>	Laje e tubulações aparentes.
<b>BANCADA</b>	Esperas hidráulicas AF, AQ e Esgoto aparentes.
<b>METAIS</b>	Espera hidráulica para ralo oculto.
<b>BANHEIRA (SOMENTE BANHO DA SUÍTE MASTER)</b>	Esperas hidráulicas AF, AQ e Esgoto aparentes.

Fonte: memorial descritivo do empreendimento

Demais sistemas de projeto, como elétrico, hidrossanitário, piso aquecido e instalações de gás também são necessários para o início da execução do contrapiso, visto que existem instalações que devem ser colocadas embutidas no mesmo. Essas interferências serão tratadas na etapa da análise da execução do contrapiso, mais adiante neste trabalho.

## 5.1 RESUMO DA ANÁLISE

Realizando uma visão geral sobre os projetos disponíveis, é possível perceber que não existe um projeto executivo que consolide as informações necessárias à execução da atividade de contrapiso especificamente. Informações devem ser buscadas em diversos projetos e consolidadas pela equipe da obra. Esse fato torna-se um problema devido ao alto número de modificações dos apartamentos, tornando-se inviável que a equipe de obra guarde “na cabeça” os detalhes já debatidos em apartamentos anteriores.

A correta interpretação e junção de informações deve ser realizada com atenção pela equipe da obra para que os detalhes não passem despercebidos.

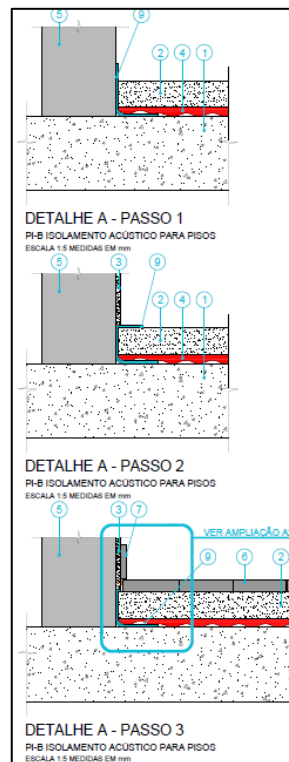
## 6 ANÁLISE CRÍTICA DA EXECUÇÃO DO CONTRAPISO FLUTUANTE

A seguir, serão levantados e explicados diversos pontos analisados durante o acompanhamento da execução do serviço, considerados pertinentes de melhora e boas práticas adotadas.

### 6.1 SEQUÊNCIA EXECUTIVA (ANTES OU APÓS O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA)

O detalhamento do projeto acústico indica a execução da alvenaria e logo após a execução do contrapiso interno, conforme nos indica a Figura 24. Somente após o contrapiso seria executado o revestimento de argamassa interno. O projeto dificulta o entendimento ao citar o revestimento de argamassa como revestimento de parede (pois normalmente é entendido como revestimento cerâmico). Essa ordem entra em conflito com a instrução de trabalho executiva da empresa, que possui a ordem expressamente indicada como alvenaria/revestimento de argamassa/contrapiso.

**Figura 24** - Indicação do passo a passo do projeto de piso acústico



Fonte: projeto de acústica

O positivo de se realizar a sequência executiva conforme indicado no projeto de acústica seria a colocação da carga do contrapiso antes da execução do encunhamento e revestimento de argamassa interno, permitindo o deslocamento da estrutura submetida a essa carga livremente, diminuindo a possibilidade de fissuras posteriores.

O detalhe do projeto de acústica fornece a seguinte sequência executiva:

**Estrutura de concreto > Alvenaria > Contrapiso interno > Revestimento de argamassa interno > Revestimento de piso > Revestimento de parede**

Quando, na verdade, a empresa possui planejamento e instruções indicando a sequência de contrapiso e revestimento de argamassa invertidas. Ficando da seguinte forma:

**Estrutura de concreto > Alvenaria > Revestimento de argamassa interno > Contrapiso interno > Revestimento de piso > Revestimento de parede**

Analisando o projeto, verifica-se que o revestimento de argamassa interno deve ser executado com sua parte inferior terminando na dobra do rodapé acústico que é deixada virada no contrapiso. No momento da execução do revestimento de piso está prevista a colocação desse piso com a aplicação de silicone no encontro do piso com o revestimento de argamassa, de forma a garantir a estanqueidade acústica do sistema em relação às vedações verticais. Dessa forma, a execução do revestimento de piso, que neste empreendimento é, em geral, realizada pelo proprietário sem o acompanhamento da construtora, é de suma importância na acústica final do edifício, sendo imprescindível que essa informação seja passada ao cliente através do Manual do Proprietário que deve ser entregue ao cliente no momento que o mesmo recebe o apartamento.

Não está especificado qual o tipo de silicone a ser utilizado para este fim, entende-se que pode ser utilizado um tipo comercial comum, como silicone de cura neutra.

No caso real da execução da obra, o revestimento de argamassa interno foi executado em uma etapa anterior ao contrapiso. O rodapé acústico foi deixado com uma espera de 2 a 5 cm acima do nível acabado do contrapiso para que o piso a ser executado posteriormente encoste no rodapé, deixando, assim, a aplicação do silicone apenas para o encontro do rodapé com o piso.

## 6.2 CONTRAPISO

A seguir serão relatados a forma de execução do contrapiso argamassado, detalhes e executivos e boas práticas aplicadas pela construtora.

### 6.2.1 ARGAMASSA

Em diversas regiões do país é comum a execução de contrapiso interno com a utilização de argamassa autonivelante. No Rio Grande do Sul, após a tentativa de implementação frustrada na construtora no início dos anos 2010, essa técnica não é mais usual. Os problemas se deveram tanto a problemas de mão de obra e técnica construtiva quanto de material. Hoje em dia, com novos estudos e adequações, esse tipo de técnica está novamente sendo utilizado, mas ainda sem uma representativa expressiva.

Outra possibilidade para fornecimento da argamassa é a argamassa usinada e entregue com caminhão betoneira em caixas de 1m<sup>3</sup> que devem ser transportadas verticalmente por elevador cremalheira para o andar de destino. Essa opção é bastante comum nos canteiros de Porto Alegre, porém onera bastante a logística da obra com o uso constante do elevador. Pode-se também realizar o bombeamento da argamassa com bomba estacionária visando a maior produtividade, porém essa opção esbarra no alto custo de locação da mesma.

Dessa forma, o empreendimento realizou um estudo comparativo e optou pelo preparado da argamassa em obra e transporte tanto vertical quanto horizontal com mangotes de borracha, conforme Figura 29, onde a argamassa é bombeada através de um compressor a diesel.

O traço utilizado para misturar a argamassa em obra seguiu o especificado na instrução de trabalho da empresa, conforme Figura 25, de modo a atender às características da Figura 26.

**Figura 25** - Traço (sem pedrisco) utilizado na obra

<b>Características</b>	<b>Especificações</b>
<b>Traço sem pedrisco (espessuras ≤ 35 mm)</b>	<b>1:3 ou 1:4 (cimento : areia)</b>
<b>Traço com pedrisco (espessuras 35 &gt; mm)</b>	<b>1:2,5:1,5 ou 1:2:2 (cimento : areia : pedrisco)</b>

Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante



**Figura 26** - Especificações a serem atingidas pela argamassa

<b>Características</b>	<b>Especificações</b>
<b>Fator água / Cimento</b>	< 0,4
<b>Consistência de aplicação</b>	Seca ("farofa")
<b>Densidade após compactação (Estado endurecido)</b>	> 2,0 Lg/Litro
<b>Resistência à compressão (NBR 13279)</b>	> 10,0 MPa
<b>Resistência à tração na flexão (NBR 13279)</b>	> 1,0 MPa
<b>Retração aos 56 dias (NBR 15261)</b>	< 200 µm/m

Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

O compressor, Figura 27, e misturador da argamassa, Figura 28, tiveram um local preparado próximo à um acesso da obra com portão para acesso de caminhões, visando a entrega de cimento ensacado e areia a granel.

**Figura 27** - Compressor a diesel utilizado para bombeamento



Fonte: própria do autor

**Figura 28** - Misturador de argamassa utilizado



Fonte: própria do autor

**Figura 29** - Transporte vertical da argamassa através de mangotes



Fonte: própria do autor

Com o objetivo de reduzir as chances de patologias no contrapiso são utilizados reforços na argamassa. A espessura média da camada de argamassa e as dimensões do pano determinam o tipo de reforço a ser utilizado, conforme Figura 30.

Nesse empreendimento é utilizada a fibra estrutural polimérica (FEP), descrita na Figura 31, para reforço da argamassa, com dosagem de 0,9 kg/m<sup>3</sup>. Uma quantidade de fibras superior ao especificado na instrução de trabalho da empresa, como forma de aumentar a resistência do piso devido à grande espessura da camada, já que a mesma instrução indica que as espessuras do contrapiso deveriam variar entre 3 a 8 cm e, dependendo do revestimento escolhido pelo cliente mais a deformação da laje, essa espessura pode chegar a até 11 cm.

**Figura 30** - Tabela utilizada para definição de reforço na argamassa

Máxima dimensão do ambiente (m)	Espessura média da camada de argamassa (cm)				
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
3,0	Sem Reforços	Sem Reforços	Sem Reforços	Sem Reforços	Sem Reforços
4,0	0,6kg/m <sup>3</sup> MF	0,6kg/m <sup>3</sup> MF	0,6kg/m <sup>3</sup> MF	0,6kg/m <sup>3</sup> MF	0,6kg/m <sup>3</sup> MF
5,0	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP
6,0	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP	1 tela ou FEP

Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

**Figura 31** - Tabela descrevendo reforços na argamassa

<p><b>11.2.1 Microfibras (MF):</b> deverão ter comprimento mínimo de 12 mm e máximo de 20 mm. Devem ser compatíveis com a argamassa, com isso, o fornecedor deve emitir laudos que comprovem esta compatibilidade.</p> <p><b>11.2.2 Fibras estruturais poliméricas (macrofibras) (FEP):</b> deverão ser álcali-resistentes e deverão atender ao prescrito na ANAPRE CF 001/11.</p> <p><b>11.2.3 Telas de aço galvanizadas:</b> além de galvanizadas, deverão ter diâmetro dos fios (transversais e longitudinais) de 1,6mm e espaçamento (transversal e longitudinal) entre fios de 5,0 x 5,0 cm. A figura 1, a seguir, demonstra as diferentes especificações de uma tela.</p>
---

Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

A forma de controle de colocação da fibra deu-se através de um recipiente que possui capacidade de armazenar 100 gramas da fibra. Como o equipamento utilizado para misturar a

argamassa tem a capacidade de fazer 0,333 m<sup>3</sup> por vez, utilizou-se a medida de 3 potes por mistura.

## 6.2.2 PREPARO DA LAJE

Conforme já citado no item sobre Ruído de Impacto, de acordo com Bistafa (2011) a qualidade da execução do contrapiso flutuante é de fundamental importância para o correto desempenho do mesmo. A seguir, serão demonstrados passos e cuidados anteriores ao bombeamento da argamassa.

### 6.2.2.1 ÁREAS SECAS

O preparo da laje para recebimento do contrapiso flutuante possui uma relevância muito maior nas áreas secas, visto que são elas que recebem o isolamento acústico.

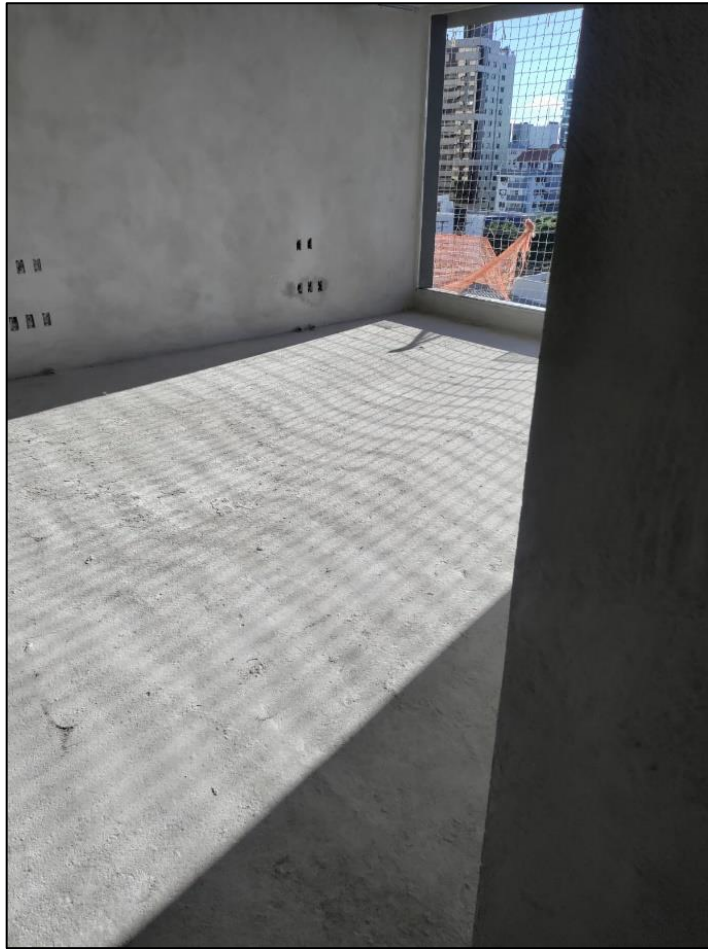
- **Limpeza da laje:**

O primeiro passo para a execução do contrapiso flutuante é a verificação da limpeza e qualidade da laje, a mesma deve estar limpa e sem restos de argamassa, principalmente nos encontros da laje com a alvenaria. Marretas, talhadeiras e raspadores podem ser utilizados para a execução do serviço. Após, apenas realizar a varrição com a vassoura é suficiente.

- **Regularização da laje:**

Em caso de haver depressões e/ou buracos, se faz necessário a regularização com argamassa de cimento e areia de traço 1/3 com consistência seca, para buscar o melhor nivelamento possível para a superfície, deixando-a conforme a Figura 32.

**Figura 32** - Laje preparada para a colocação da manta

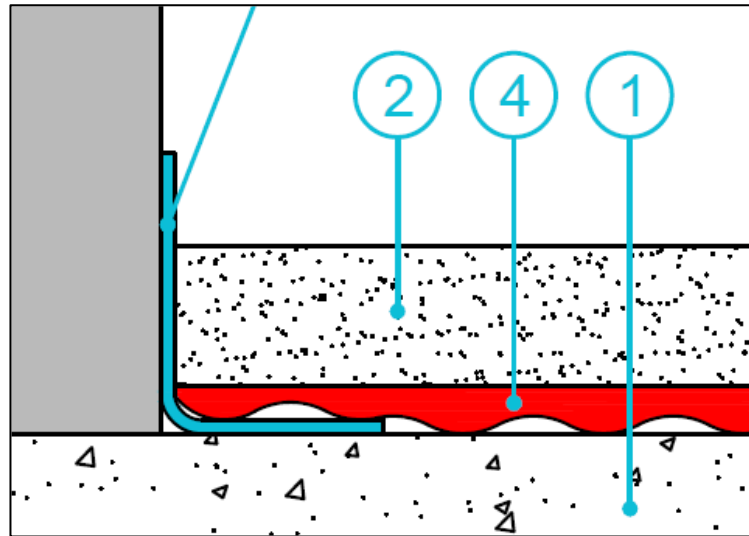


Fonte: própria do autor

- **Instalação do rodapé acústico:**

Com a laje preparada, inicia-se a instalação do rodapé acústico no encontro da base da alvenaria com a laje, detalhado na Figura 33. A execução do rodapé deve ser anterior à colocação das placas em função da virada de 5 cm que o mesmo tem sobre a laje (essa distância foi explicada no item Sistema de Piso Projetado).

**Figura 33** - Detalhe da virada do rodapé acústico na laje



Fonte: própria do autor

Nessa etapa, é importante a conferência quanto à existência e dimensão da virada do rodapé na laje. A Figura 34 demonstra um rodapé instalado com 4 cm, abaixo dos 5 cm estipulados pela equipe da engenharia, tendo, então, que ser recolocado.

**Figura 34** - Rodapé instalado com dimensão da virada inferior ao estipulado



Fonte: própria do autor

Novamente, conforme citado no item sobre o Sistema de Pisos Projetado, é necessário a colagem do rodapé na parede com o rolo dividido ao meio para que a altura do mesmo não fique inferior ao contrapiso. A Figura 35 demonstra um rodapé com a virada correta, porém com a necessidade da colocação da tira extra visando atingir a altura necessária.

**Figura 35** - Rodapé instalado com virada na laje adequada



Fonte: própria do autor

- **Colocação da manta acústica em placas:**
- Com a laje preparada e o rodapé instalado, inicia-se a colocação das mantas acústicas em placas na laje. O material é entregue em pallets, que devem ser descarregados com auxílio de caminhão Munck, e transportados para os apartamentos com auxílio de palleteira, onde são distribuídos conforme a necessidade, conforme

- Figura 36. Não existe um projeto de “paginação” para a colocação das placas, sendo recomendado primeiramente a análise do local buscando ter o mínimo de recortes de placas possível para que haja uma maior agilidade de colocação e menor desperdício de material, sendo que o resultado deve ser conforme a Figura 37 e a Figura 38.



**Figura 36** – Manta: (a) descarga da manta palletizada com a utilização de caminhão Munck e (b) armazenamento no andar para uso



(a)



(b)

Fonte: própria do autor

**Figura 37** - Ambiente da sala com manta acústica colocada



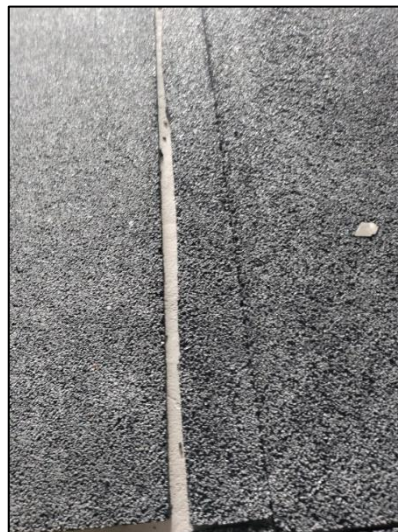
Fonte: própria do autor

**Figura 38** - Ambiente de dormitório com manta acústica colocada



Durante a instalação das placas, é necessário o auxílio de uma tábua ou sarrafo de madeira e de um estilete para realizar o recorte das placas onde necessário. Para o correto desempenho do sistema, não pode haver contato da argamassa do contrapiso com nenhuma parte da estrutura ou da alvenaria. Abaixo, a Figura 39 demonstra recortes mal executados que, caso não corrigidos, poderiam realizar esse contato causando uma ponte acústica.

**Figura 39** - Recorte da manta executado erroneamente



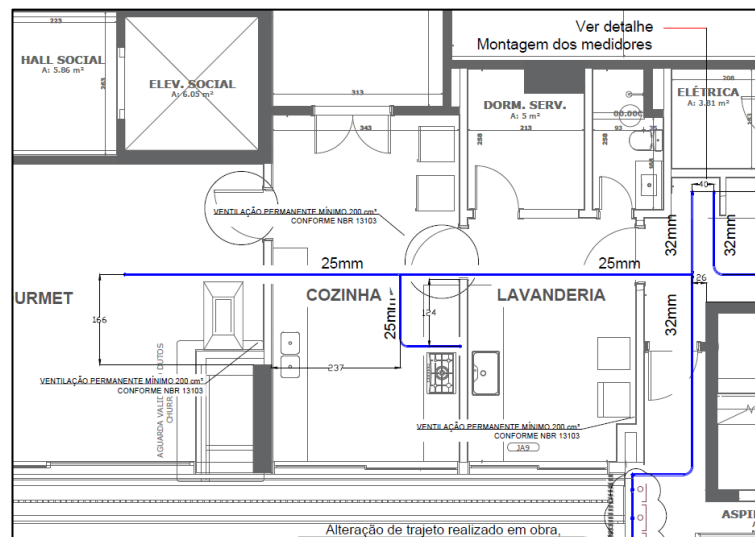
Fonte: própria do autor

- **Execução e conferência de instalações predecessoras:**

Antes de se iniciar o bombeamento da argamassa para o pavimento, é necessário realizar a execução e conferência de todos os serviços que devem ficar embutidos no contrapiso, como instalações de gás, elétrica, hidráulica e piso aquecido (a ser tratado no item sobre personalização).

Quanto às instalações de gás, conforme a Figura 40, as mesmas fazem seu trajeto sobre a laje de concreto diretamente ao seu ponto de consumo. Isso faz com que no momento da colocação da manta acústica, o serviço do gás já esteja executado. Como os momentos entre a instalação da rede de distribuição de gás e da execução do contrapiso foram planejados com um tempo consideravelmente longo entre os dois, a obra optou por se realizar a chumbamento da rede com cimento e areia até que se chegasse o momento da execução do contrapiso, visando a proteção da rede devido à grande movimentação de outros serviços que tiveram que ocorrer nos pavimentos.

**Figura 40 - Projeto de instalações de gás mostrando trajeto pela laje**

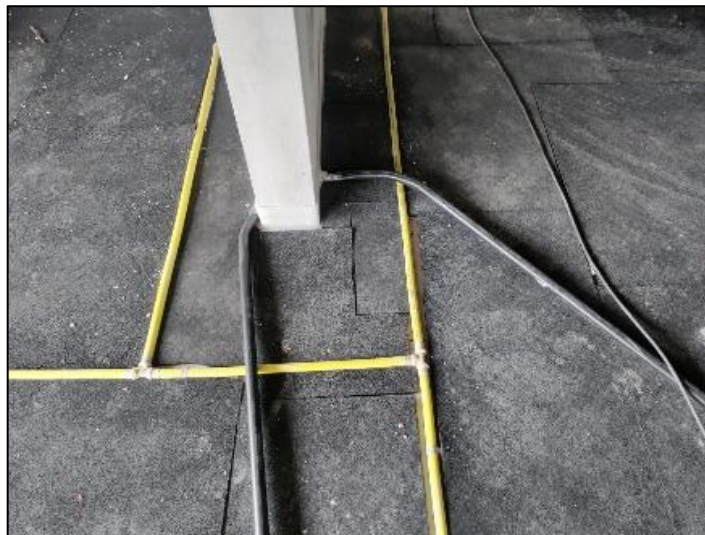


Fonte: projeto de instalações de gás (Instalsystem)

Nesse momento, foi necessário o deslocamento de uma equipe para realizar a retirada da fixação, com o cuidado para não danificar a rede ao bater, e possibilitar a colocação da manta acústica nas áreas secas. Após a retirada da fixação de proteção, realizou-se em todos apartamentos a retestagem da rede de gás para garantir a estanqueidade da mesma.

A colocação da manta acústica em áreas com passagens da tubulação de gás deu-se realizando o corte da manta nessas regiões e encontrando lateralmente a manta na tubulação, conforme Figura 41. Para não se criar uma ponte acústica no contato entre a argamassa e a tubulação de gás, após a colocação da manta acústica ondulada, se recobriu o caminho do gás com o rodapé acústico.

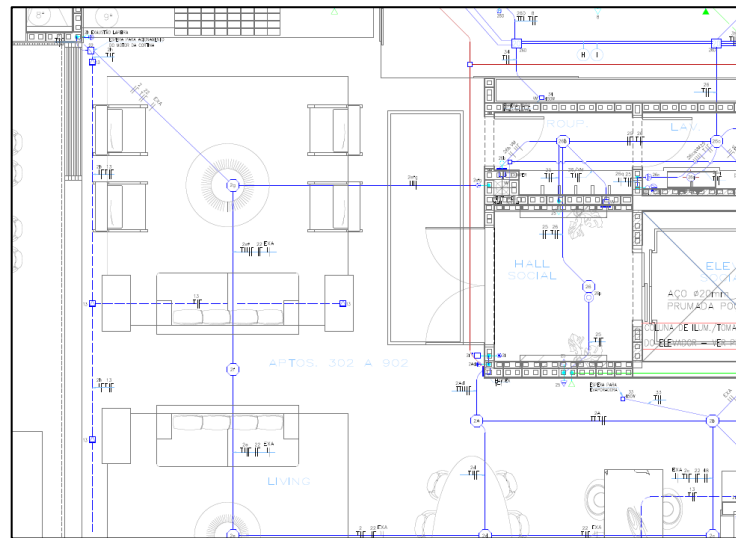
**Figura 41** - Instalações de gás embutidas no contrapiso



Fonte: própria do autor

Já quanto às instalações elétricas embutidas no contrapiso, o projeto elétrico indica as tubulações de teto em linha contínua e as instalações de piso em linha tracejada. É possível perceber, na Figura 42, que o ambiente da sala de estar possui diversos pontos de piso previsto para ser pontos de tomada próximo aos mobiliários, devido à grande dimensão do ambiente.

**Figura 42 - Instalações elétricas embutidas no contrapiso**



Fonte: projeto de instalações elétrica (Tesla)

Ao longo das execuções dos apartamentos personalizados, verificou-se em diversos casos, devido ao aumento e alteração dos locais dos pontos elétricos, a interferência de trajetos das tubulações ocasionando problemas devido ao nível em que essas tubulações ficaram, no caso acima do nível do contrapiso. A Figura 43 e a Figura 44 demonstram casos em que esse problema foi constatado:

**Figura 43 - Interferências de trajetos de instalações de elétrica e gás**



Fonte: própria do autor

**Figura 44** - Interferências de trajetos de instalações de elétrica



Fonte: própria do autor

Para dar seguimento na instalação do contrapiso, foram necessárias modificações nas instalações nesses casos. Em algumas situações apenas a mudança de trajeto do eletroduto foi suficiente, porém, em outros, foi necessário a mudança de circuitos e de trajetos desde a saída do CD, ocasionando a necessidade de algumas aberturas no revestimento de argamassa já pronto. Essas modificações demandam uma grande atenção da equipe devido a necessidade de se registrar todas as mudanças para a elaboração do as built posteriormente.

A realização desse serviço também envolveu um conflito com a colocação das mantas acústicas, pois, como as tubulações e caixas elétricas devem ser embutidas no contrapiso, sua instalação deve ser posterior à colocação da manta e anterior ao bombeamento da argamassa. Ao se marcar e instalar as caixas elétricas em cima da manta acústica, é necessário se realizar o chumbamento com argamassa ao redor da caixa para garantir o nível e locação da mesma. No entanto, como o contrapiso é bombeado através de mangotes, em alguns pontos obrigatoriamente o mangote se apoia sobre os eletrodutos e, no andamento do bombeamento, o mangote se movimenta devido à pressão e passagem da argamassa. Esse movimento fez com que o chumbamento se soltasse e os pontos saíssem dos seus lugares nos pontos de cruzamento do mangote com as instalações, conforme Figura 45.

**Figura 45** - Cruzamento de mangote e instalações elétricas

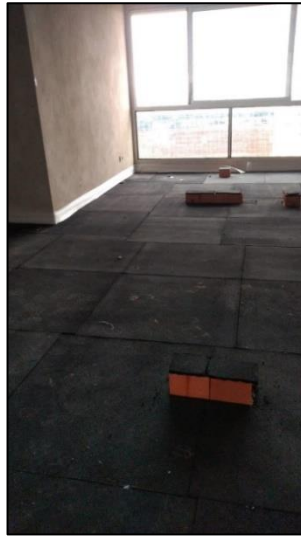


Fonte: própria do autor

Após a constatação do problema, a equipe de engenharia da obra, juntamente com as equipe de instalação elétrica, debateu a questão e desenvolveu uma solução. A ideia foi, após a colocação da manta acústica em todo ambiente, realizar a marcação dos pontos de elétrica na manta com um bloco de alvenaria e trazer o eletroduto até o bloco para que, após a execução do contrapiso, se quebrasse o bloco e instalasse a caixa elétrica. Ao se marcar o ponto com o bloco, realizou-se o corte da manta acústica sob a projeção do bloco, dessa forma o bloco fica “preso” entre a manta acústica, impedindo qualquer deslocamento do mesmo ao longo do bombeamento da argamassa.

O pedaço de manta cortado sob o bloco fica colocado sobre o próprio bloco, conforme Figura 46, até o momento da instalação e chumbação da caixinha elétrica. Nesse momento, o instalador elétrico deve realizar a retirada do bloco cerâmico, recolocar o pedaço de manta de modo a cobrir 100% a laje (para não permitir a ponte acústica) e só então, realizar a instalação da caixa. Esse cuidado na recolocação do pedaço de manta cortado é fundamental para o correto desempenho do sistema.

**Figura 46** - Marcações de pontos elétricos com blocos cerâmicos



Fonte: própria do autor

O projeto de instalações hidrossanitárias também prevê alguns pontos a serem embutido no contrapiso. Como essa instalação não apresentou problemas, dificuldades ou soluções específicas, não serão detalhadas nesse trabalho.

No momento logo anterior ao bombeamento da argamassa, deve-se realizar a colocação de uma camada de lona de no mínimo 60 micras em cima da manta, conforme Figura 47. Essa camada de manta tem o objetivo de impedir que a argamassa entre as placas e prejudique o desempenho do sistema. Após essa colocação, o ambiente encontra-se pronto para o bombeamento.

**Figura 47** - Colocação de lona 60 micras sobre manta acústica



Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante



### 6.2.2.2 ÁREAS MOLHADAS

As áreas molhadas do empreendimento são consideradas as áreas em que a condição de uso e de exposição pode resultar na formação de lâmina d'água pelo uso normal do ambiente.

No projeto de acústica, existem ambientes que estão especificados com a colocação da manta acústica e ambientes sem a mesma, apenas com a indicação da espessura necessária da laje. Pelo projeto, temos as seguintes orientações, conforme Quadro 6, para um apartamento tipo final 02:

**Quadro 6** - Divisão de locais com manta acústica e suas respectivas áreas

Local	Área (m <sup>2</sup> )	Tem manta?
Suíte 01	17,36	SIM
Banho 01	4,24	NÃO
Suíte 02	14,34	SIM
Banho 02	4,24	NÃO
Suíte 03	17,36	SIM
Banho 03	4,08	NÃO
Suíte Master	20,28	SIM
Closet	20,68	SIM
Banho Master	20,57	NÃO
Estar íntimo/Galeria	28,72	SIM
Lavabo	2,98	NÃO
Rouparia	2,81	NÃO
Living	98,46	SIM
Varanda	36,62	NÃO
Cozinha	21,88	SIM
Lavanderia	13,55	NÃO
Dorm. Serviço	5	NÃO
Banho Serviço	3,07	NÃO
<b>Área com manta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>239,08</b>	
<b>Área sem manta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>97,16</b>	
<b>Total</b>	<b>336,24</b>	

Fonte: elaborado pelo autor

Em linhas gerais, ambientes que são considerados áreas molhadas ou molháveis (com exceção da cozinha) não possuem a previsão de colocação de manta acústica. Dessa forma, existem várias situações nos apartamentos onde tem-se o encontro de áreas que possuem tratamento acústico distinto, uma com e outra sem a colocação da manta, onde a interface entre esses dois ambientes será tratada mais à frente neste trabalho. Como esses ambientes não possuem a colocação da manta acústica, seu preparo para a execução do contrapiso é muito mais simplificado.

Os ambientes possuem geralmente, conforme o projeto de impermeabilização indicado na Figura 22, impermeabilização no local. As impermeabilizações aplicadas são, via de regra, impermeabilização com manta asfáltica de 4 mm de espessura nos banhos (tanto dentro quanto fora do box) e cimento elastomérico em alguns banheiros e nas lavanderias. Os tipos de impermeabilização variam conforme o projeto específico do cliente, mas, em linhas gerais, sua alteração não influencia no contrapiso aderido a ser executado nesses ambiente, uma vez que ambos possuem proteção mecânica por cima da impermeabilização (cimento e areia para manta asfáltica e chapisco rolado para cimento elastomérico).

A Figura 48 representa um box já impermeabilizado com manta asfáltica e protegido, pronto para a execução do contrapiso, e a Figura 49 representa uma lavanderia impermeabilizada com cimento elastomérico e protegido, igualmente pronto para a execução do contrapiso.

**Figura 48** - Box preparado para execução do contrapiso



Fonte: própria do autor

**Figura 49** - Lavanderia preparado para execução do contrapiso



Fonte: própria do autor

Não possuindo o tratamento acústico, nesses ambiente a execução contrapiso é chamado de contrapiso aderido (inverso do flutuante). Antes do bombeamento da argamassa é apenas aplicado no ambiente uma nata de cimento mais água para auxiliar na aderência da argamassa seca (farofa) com a superfície inferior.

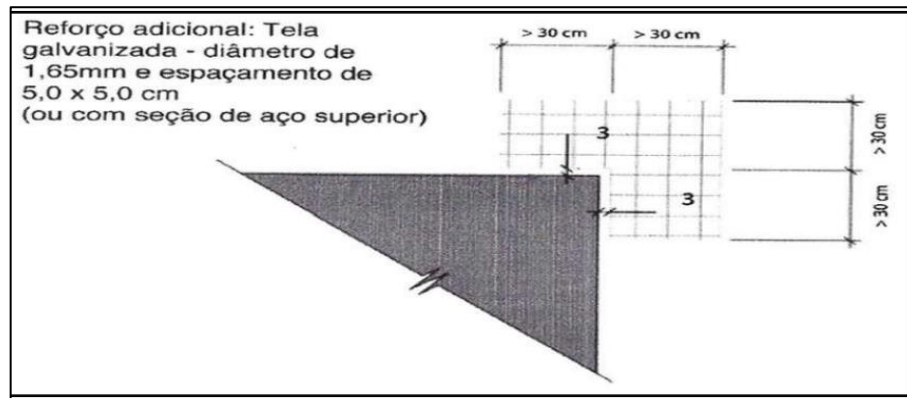
### 6.2.3 REFORÇO DE CANTOS

Nos locais onde existem portas, quinas ou golas, o procedimento executivo obriga a aplicação de reforço de tela metálica no contrapiso com o objetivo de evitar a fissuras nesses locais devido ao acúmulo de tensões nos mesmos.

Para esse reforço a tela indicada é a tela galvanizada com diâmetro do fio de 1,65 mm e espaçamento de 5,0 x 5,0 cm, ou alguma tela com seção de aço superior. No caso da obra em questão, a tela utilizada foi a tela “Fachaforte”, que é a tela comumente utilizada em reforços de revestimento externo em fachadas. A tela “Fachaforte” possui fios de 1,24 mm de diâmetro e espaçamento da malha de 2,5 x 2,5 cm. Possuindo, devido ao menor espaçamento da malha, uma área de aço superior.

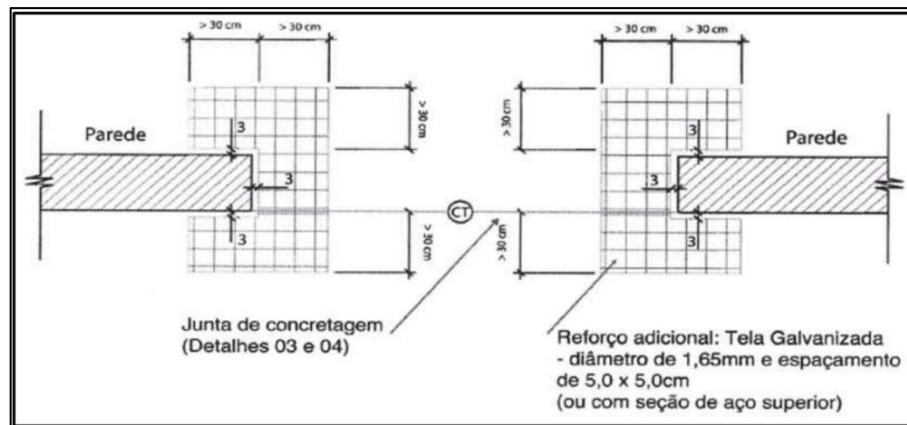
A colocação da tela deve ser com, no mínimo, 30 cm de comprimento para cada lado da quina a ser reforçada e com distância de 3 cm da alvenaria, conforme imagens abaixo:

**Figura 50 - Reforço de quinas**



Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

**Figura 51 - Reforço de portas**

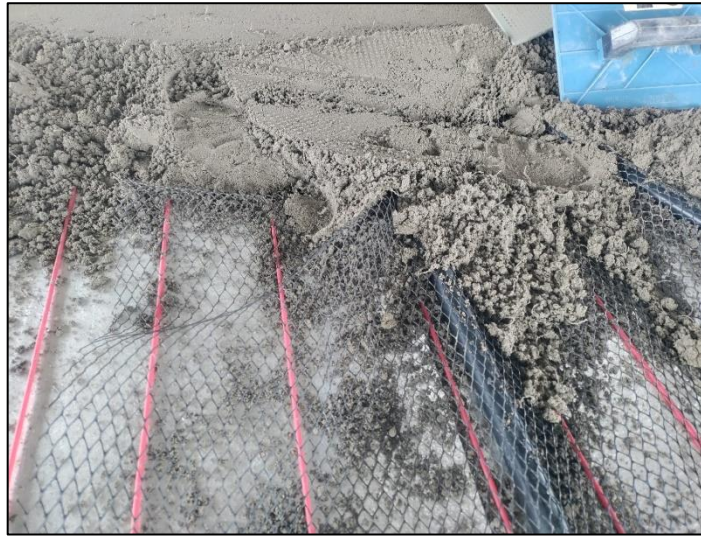


Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

Similar aos reforços de quinas e cantos, são os reforços executados sobre as tubulações embutidas no contrapiso. Esse reforço não é especificado em projeto ou em instruções de trabalho interna da empresa, mas foi adotado como uma boa prática pela obra para evitar a ocorrência de fissuras no trajeto que essas tubulações possuem.

Abaixo, a Figura 52 representa a colocação da tela de reforço em um apartamento que possui piso aquecido elétrico. Nesses pavimentos, as telas de reforço utilizadas foram a tela plástica hexagonal preta, com malha de 1/2". Nos pavimentos sem piso aquecido, a tela utilizada foi a metálica galvanizada, seguindo a mesma lógica.

**Figura 52** - Reforço sobre tubulação elétrica



Fonte: própria do autor

#### 6.2.4 JUNTAS DE DILATAÇÃO DO CONTRAPISO

Conforme apresentado no item de Análise dos Projetos, as juntas de dilatação são fundamentais para evitar manifestações patológicas e manter a integridade do contrapiso e de seu revestimento a longo prazo. As juntas devem ser executadas no momento da execução do contrapiso, ainda com a argamassa fresca.

A forma de execução da junta é realizar o “corte” da junta com uma colher de pedreiro, de forma que o contrapiso fique completamente compartimentado do pano adjacente. A marcação e corte da junta de dilatação de panos grandes deve ser muito precisa, pois, deve coincidir exatamente com a aplicação do revestimento de piso posterior. Ou seja, caso aja problema de cota a paginação do piso não concordará com a junta, e caso aja problema de esquadro na junta os problemas podem ser consideravelmente piores. Abaixo segue alguns registros de juntas de dilatação executadas nos ambientes das salas de estar:

**Figura 53** - Junta de dilatação do contrapiso da sala de estar



Fonte: própria do autor

**Figura 54** - Junta de dilatação do contrapiso de dormitório

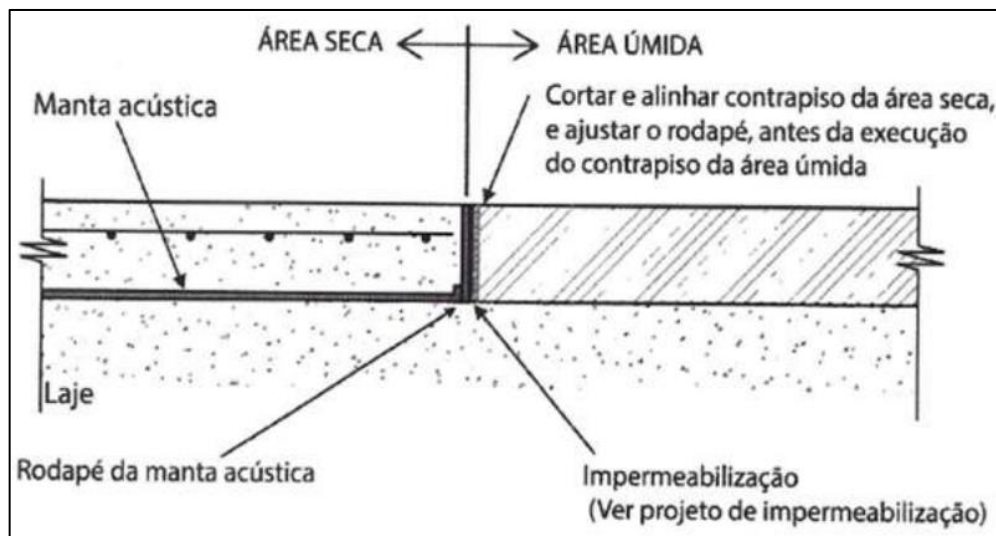


Fonte: própria do autor

### 6.2.4.1 JUNTAS DE DILATAÇÃO ENTRE AMBIENTES

Na Figura 55 é possível observar o detalhe da junta de concretagem entre dois ambientes. Essa junta está, somente, indicada nesse detalhe do procedimento executivo, não sendo orientada em nenhum outro documento ou projeto específico (fica claro ao se analisar a planta de juntas de dilatação padrão, onde há somente a indicação de dilatação dos panos).

**Figura 55** - Junta de separação de ambientes



Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

A equipe de engenharia da obra adotou, como padrão, a obrigatoriedade de execução de junta de dilatação nos locais onde há portas, para que não ocorram fissuras indesejadas nestes locais devido ao acúmulo de tensões. Dessa forma, o número de juntas de dilatações a ser executadas nos apartamentos aumenta de forma significativa em relação ao inicialmente previsto em projeto, em função de um pré-requisito técnico.

Essa definição de executar as juntas em locais onde existem portas teve interferência em, primeiro, a necessidade de compatibilizar essa junta de dilatação com a paginação do revestimento de piso dos clientes. Muitas vezes as paginações possuem início em alguma peça específica e seguem para o restante do apartamento inteiro, fazendo que essas juntas não coincidam obrigatoriamente com a localização das portas. Devendo, assim, ocorrer uma revisão por parte do projeto arquitetônico de detalhamento de pisos.

Segundo, essa junta, em muitos casos, faz a divisão de ambiente com pisos distintos. Por uma questão estética é importante que essa transição fique o mínimo perceptível para o cliente final. Para isso, se faz necessário que a transição ocorra exatamente embaixo da folha da esquadria

de madeira, de modo que quando a porta está fechada, não se veja o ambiente do outro lado. Para a correta locação da junta nessa divisão de ambientes, a informação necessária é o tipo de revestimento de parede que o ambiente irá ter.

No caso do revestimento ser cerâmico ou com pedras (granito, mármore e etc.) a junta de dilatação deve ser realizada no lado da gola onde a porta fecha e alinhada com o revestimento de argamassa. Já no caso da parede ter apenas pintura, a junta deve ser executada com 1,5 cm para dentro do alinhamento do revestimento de argamassa, para que a junta fique embaixo da porta.

Na Figura 56, um exemplo de junta de dilatação entre dois ambientes que possuem contrapiso flutuante. Como a junta de dilatação entrasse alinhada com o revestimento de argamassa interno de um dos ambientes e não 1,5 cm para dentro da porta, é possível deduzir que o ambiente possui revestimento em cerâmica ou pedra nas paredes.

**Figura 56** - Junta de separação de ambientes



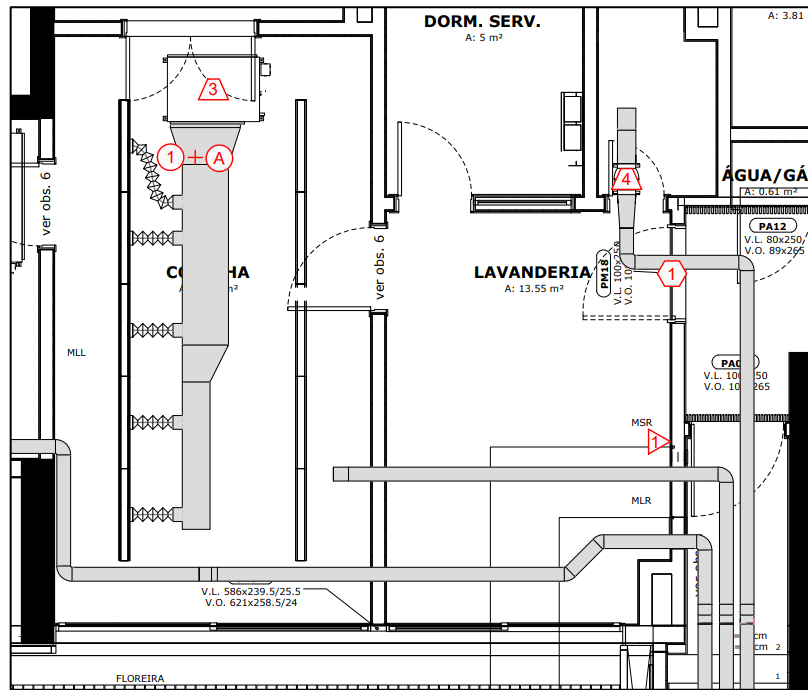
Fonte: instrução de trabalho executiva da empresa executante

#### 6.2.5 ENCONTRO DE AMBIENTE COM E SEM MANTA ACÚSTICA

O detalhe ou forma executiva da separação entre ambientes que possuem manta acústica e ambientes que não possuem não é descrito em nenhum local do projeto acústico. Pegando o exemplo da área de encontro entre a cozinha (com manta acústica) e a lavanderia (sem manta acústica), é possível reparar a indicação da colocação da manta na cozinha e a falta de informação na lavanderia.



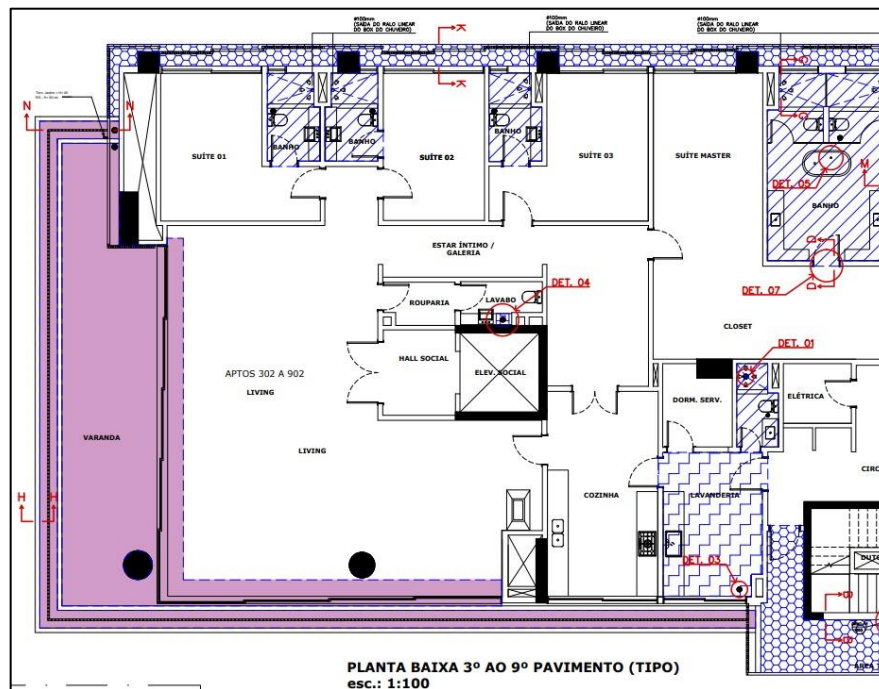
**Figura 57** - Indicação de locais com piso acústico



Fonte: projeto de acústica

É importante levar em consideração que as áreas em molhadas e molháveis, na maioria das vezes, possuem impermeabilização, conforme Figura 58.

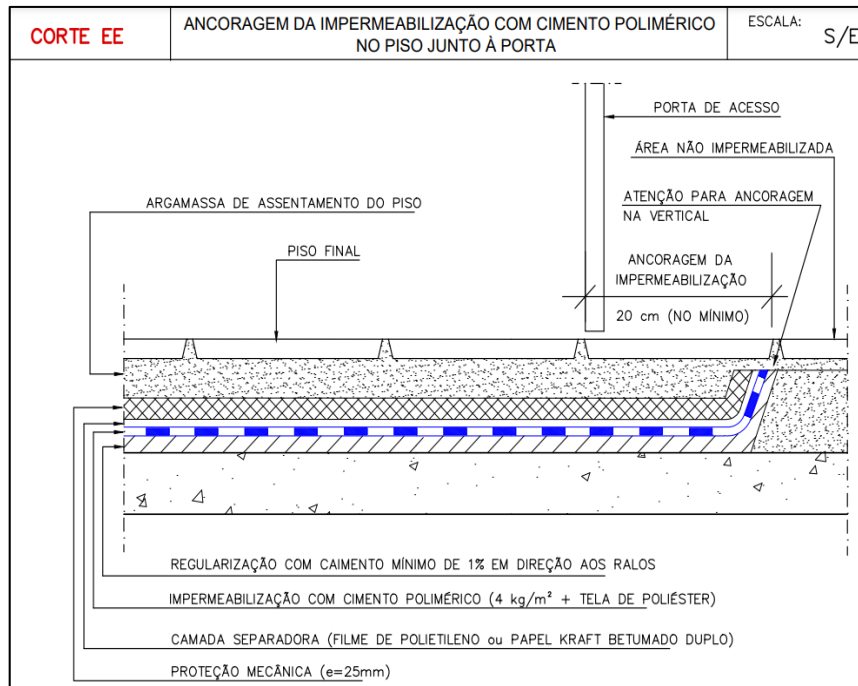
**Figura 58** - Projeto de impermeabilização com especificação de tratamentos em cada local



Fonte: projeto de impermeabilização

Na interface entre cozinha e lavanderia, o projeto de impermeabilização apresenta um corte E-E na porta que separa os ambientes mostrando como deve se proceder com a impermeabilização, que neste local é com cimento elastomérico, conforme Figura 59.

**Figura 59** - Detalhe de impermeabilização entre áreas secas e molhadas



Fonte: projeto de impermeabilização

Pelo fato de a impermeabilização ser um serviço que leva, em função das suas várias demãos de produto, alguns dias para ser executada, no momento em que o contrapiso inicia no apartamento a impermeabilização de todos ambientes já deve estar pronta. Desta forma, o detalhe mostrado no projeto de impermeabilização não pode ser seguido em função de sequência executiva de obra.

A solução adotada pela obra foi realizar o assentamento de uma mureta pré moldada de concreto visando criar um anteparo para se realizar a ancoragem solicitada no projeto de impermeabilização, liberando assim a execução da impermeabilização antes da entrada do contrapiso no apartamento.

A execução da junta de dilatação seguiu o indicado na Figura 55, que foi retirada da instrução de trabalho executiva da empresa. Mantendo, dessa forma, o isolamento acústico entre os dois ambientes.

**Figura 60** - Banheiro com junta de dilatação acústica



Fonte: própria do autor

**Figura 61** - Detalhe de impermeabilização entre banheiro e dormitório



Fonte: própria do autor

### 6.3 ENCONTRO COM ESQUADRIA

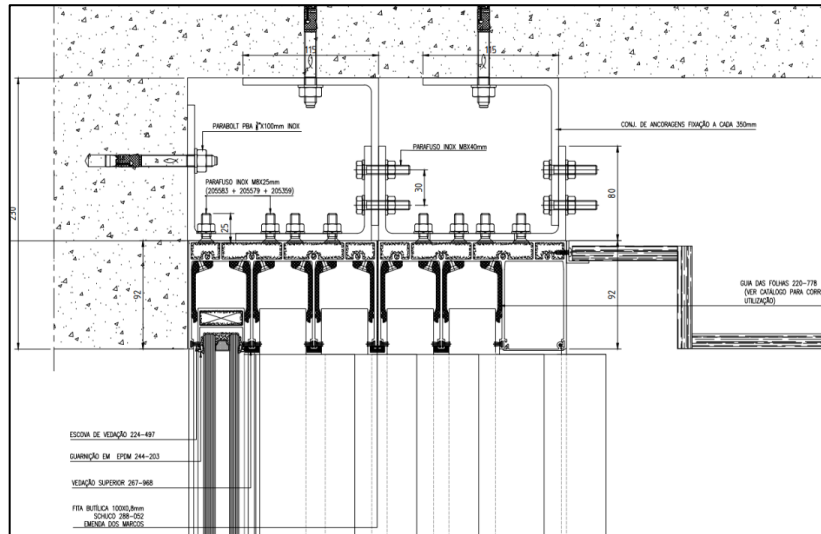
Do ponto de vista do desempenho acústico, um ponto sensível no empreendimento são as salas de estar/livings. A parte de encontro do contrapiso com a porta janela do living e sua interferência com a impermeabilização possuem pontos não detalhados em projeto que necessitaram da adaptação por parte da equipe de obra.

A esquadria que separa o living da varanda é uma porta janela de alumínio com conceito minimalista. Segundo a revista “O Vidroplano”, nos últimos anos a arquitetura moderna tem buscado uma maior integração entre as áreas internas e externas dos empreendimentos. Com isso em vista, boa parte dessas obras utilizam as esquadrias minimalistas, cuja função é aumentar a área de transparência, fazendo com que os benefícios dos vidros sejam maximizados, aumentando a luminosidade e ocasionando o mínimo de interferência visual possível.

Ainda segundo O Vidroplano, a elaboração dos projetos que contam com esquadrias minimalistas devem ter esse conceito em mente desde os primeiros esboços dos projetos, devido à, principalmente, dois fatores: marcos embutidos e drenos embutidos.

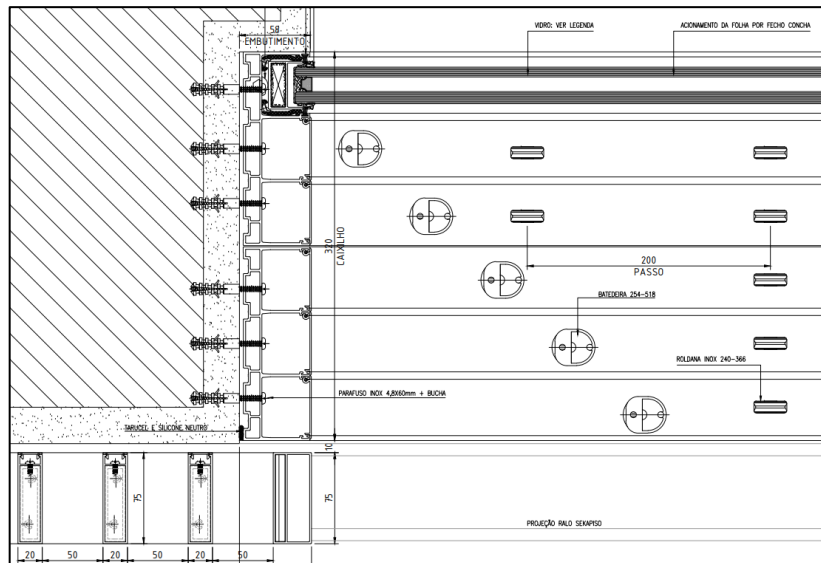
Para que a esquadria atenda o conceito minimalista, com o mínimo possível de perfis de alumínio aparentes, é necessário que haja a previsão em projeto da espera para embutimento desses marcos em todo o perímetro da esquadria. Na parte superior costuma-se realizar o embutimento diretamente no forro, geralmente de gesso acartonado, sendo uma solução mais facilmente executada, conforme Figura 62. Nas laterais, é necessário realizar o embutimento dos perfis laterais na alvenaria, de modo a que o revestimento de argamassa ou o revestimento de parede “encoste” no perfil, conforme Figura 63. Já os trilhos inferiores devem possuir o embutimento diretamente na estrutura de concreto armado ou no contrapiso argamassado, que é o caso do empreendimento em questão, conforme detalhado na Figura 64.

**Figura 62** - Detalhe do embutimento do marco superior no forro, considerando a existência de um cortineiro



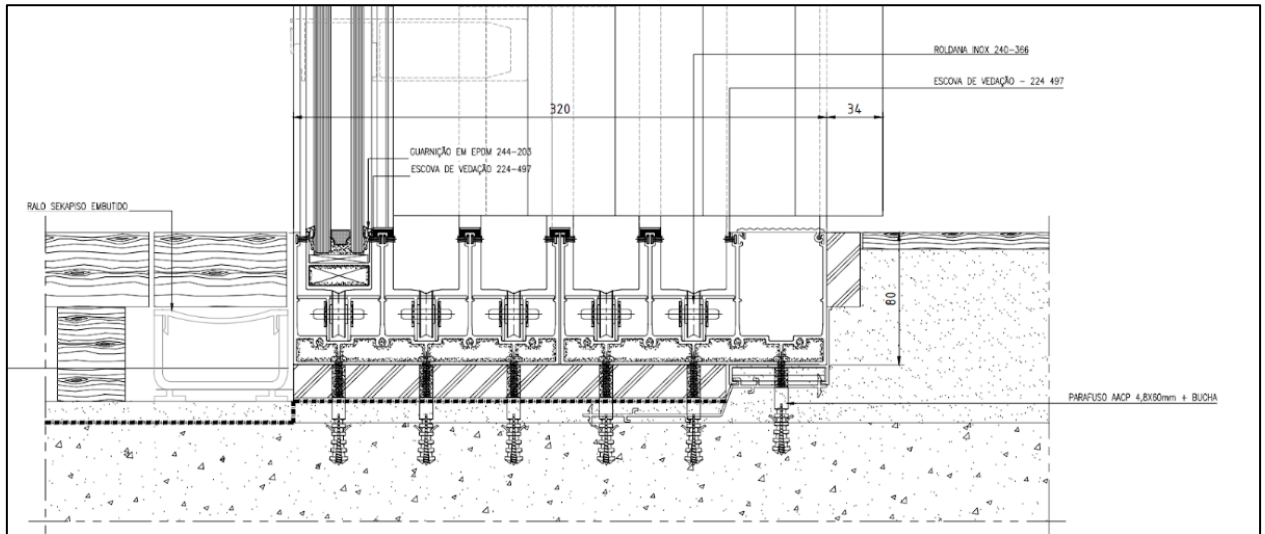
Fonte: projeto executivo de esquadrias do fornecedor

**Figura 63** - Detalhe do embutimento do marco lateral na alvenaria



Fonte: projeto executivo de esquadrias do fornecedor

**Figura 64** - Corte exibindo trilho inferior da esquadria minimalista



Fonte: projeto executivo de esquadrias do fornecedor

Em relação à drenagem embutida, é necessário que o projeto especifique a forma de condução da água que será coletada pelos trilhos até a captação pluvial do edifício. Como a esquadria não forma um degrau que bloqueia a entrada de água, esse sistema deve prever a coleta de toda água e destino de uma forma que não fique aparente ao usuário. A Figura 64 também indica a previsão de um sistema de drenagem utilizando um “ralo *sekapiso* embutido” revestido na parte de cima com o piso escolhido pelo cliente, de forma a ficar totalmente oculto. Porém, essa solução proposta não atendeu a determinadas exigências e não pode ser executada. A obra, em conjunto com fornecedores parceiros, desenvolveu dois sistemas de drenagem, um voltado para o living com tubos de alumínio e outro para substituir o ralo *sekapiso*, conforme Figura 65 e Figura 66.

**Figura 65** - Drenagem da esquadria voltada para a varanda



Fonte: própria do autor

**Figura 66** - Drenagem da esquadria substituindo o ralo sekapiso



Fonte: própria do autor

É importante salientar que a questão da drenagem não possui interferência direta com o projeto e desempenho acústico do ambiente, devido de, conforme a Quadro 6, a área do living possuir isolamento acústico e a varanda não possuir, sendo a esquadria, portanto, o elemento divisor.

Para o melhor entendimento da origem do problema, faz-se necessária a compreensão sobre as alterações ocorridas no projeto da esquadria minimalista em si.

Em um primeiro momento, é contratada a empresa que executará os projetos executivos das esquadrias do empreendimento. Após a definição do mesmo, é elaborado um documento chamado “Critérios de projeto”, em que o projetista apresenta os parâmetros básicos para elaboração de projetos de esquadrias da obra, informações sobre as cargas de vento utilizadas de acordo com a área onde o projeto se encontra, linhas a serem seguidas no desenvolvimento do projeto, espessuras e cores de vidros e estimativas de custos do projeto, considerando a solução proposta.

Após o aceite deste documento pelo setor de projetos, inicia-se a elaboração do anteprojeto e, após séries de rodadas de debate, compatibilização e ajustes, é elaborado o projeto executivo do projetista a ser entregue para a construtora juntamente com o mapa arquitetônico das esquadrias completo. Tendo em mão esse conjunto de projetos, a construtora pode, então, partir para a parte de contratação do fornecimento e colocação das esquadrias.

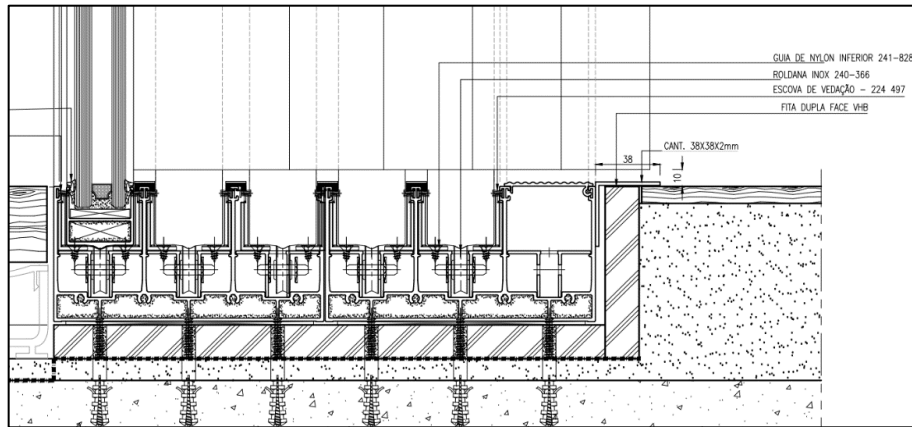
Havendo executado a contratação do fornecedor, é cobrado do mesmo a execução de um novo jogo de projetos executivos dele. Isto se deve ao fato de serem necessários ajustes em dimensões de perfil, vidro, ancoragens, parafusos e vedação, conforme os tipos de materiais e especificações que o fornecedor trabalha. Depois de elaborado o novo conjunto de projetos, o mesmo passa pela análise e aprovação do projetista original para verificação de que todos os itens do documento “Critérios de projeto” tenham sido seguidos, para em seguida ser liberado para fabricação e execução em obra.

Ao passar por este processo de elaboração do projeto executivo do fornecedor, executou-se uma alteração de projeto na aba inferior das esquadrias minimalistas do living. O projeto original não previa a instalação dos trilhos inferiores com contramarco, conforme Figura 67 era prevista a instalação dos trilhos diretamente sobre uma superfície regularizada e plana, com a fixação sendo realizada através de parafusos no sentido vertical, havendo uma linha de seis parafusos espaçadas em 350 mm, sendo que um desses parafusos está fixado diretamente no contramarco.



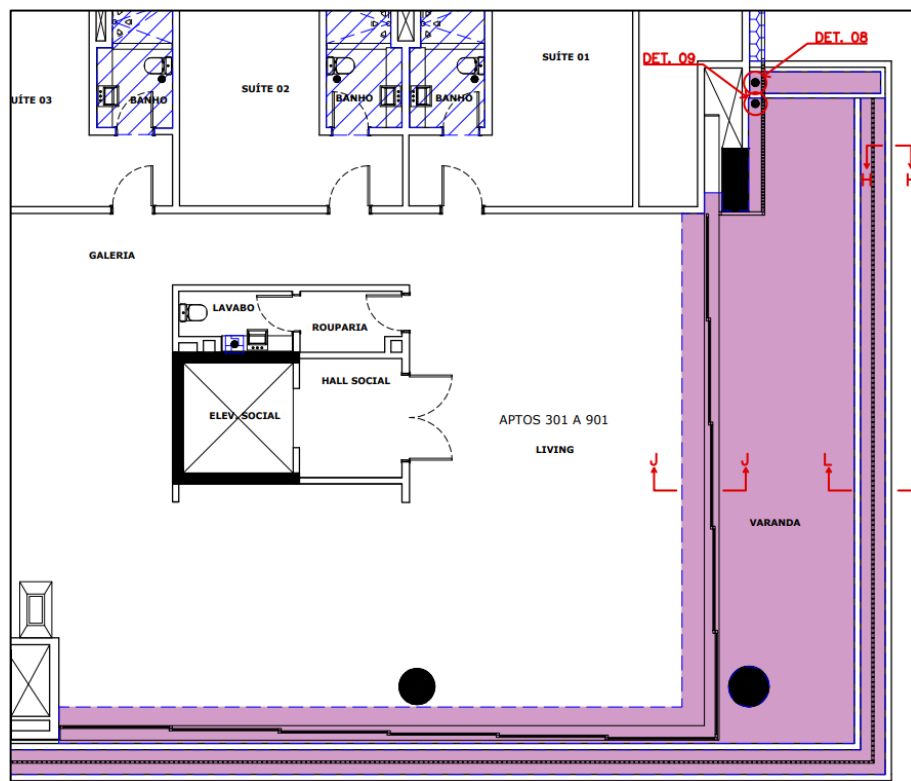
Essa previsão da fixação vertical entra em conflito com a impermeabilização de membrana de poliuretano prevista neste local, conforme Figura 68.

**Figura 67** - Projeto executivo do consultor de esquadrias. Detalhe para a não existência do contramarco



Fonte: projeto executivo de esquadrias do fornecedor

**Figura 68** - Projeto de impermeabilização prevendo impermeabilização com membrana de poliuretano



Fonte: projeto de impermeabilização

Por questões técnicas, buscando uma forma de travar medidas e garantir níveis, o fornecedor, em conjunto com a engenharia da obra, optou pela alteração do projeto e consequente instalação

de contramarco de alumínio nas laterais e no trilho inferior (os trilhos superiores seguiram com a solução de ancoragens originalmente proposta, com cantoneiras de alumínio).

Quanto à fixação inferior, não foi alterada em projeto a forma de fixação, apesar dela ser inviável devido à já comentada interferência com a impermeabilização. Dessa forma, o fornecedor, em conjunto com a obra, propôs uma solução alternativa: a instalação de cantoneiras de alumínio, muito similares às ancoragens inferiores, no piso, de forma a realizar o travamento do trilho inferior para resistir à pressão do vento, tanto na parte externa quanto na interna.

Esse processo de instalação da cantoneira aconteceu da seguinte forma: em um primeiro momento, após a regularização da superfície pela equipe da impermeabilização, o empreiteiro das esquadrias realiza a furação da laje e posterior fixação de uma barra roscada com adesivo estrutural epóxi. Em seguida a equipe de impermeabilização realiza a aplicação da membrana de poliuretano e trata todos os pontos em que foram instaladas as barras roscadas, de forma a garantir a total estanqueidade do sistema. Após isso, a equipe das esquadrias realiza o processo de instalação do contramarco de alumínio nas laterais e na parte inferior.

Como a impermeabilização é com o sistema de membrana de poliuretano, existia por parte da engenharia da obra o receio da não correta aderência na chumbeação ao piso. Dessa forma, como proteção mecânica foi escolhido o chapisco rolado devido a aderência química que o mesmo proporciona no piso e serve como ancoragem para a chumbeação com argamassa de cimento e areia do contramarco. Na Figura 69 é possível observar o detalhe da grapa do chumbador virado para o lado interno do ambiente. Optou-se pela colocação das grapas tanto para o lado externo quanto pelo lado interno devido ao receio de que, durante o andamento da obra, ocorresse alguma colisão com o contramarco, por se encontrar em um ponto vulnerável.

**Figura 69** - Grapa chumbada do contramarco voltada para o lado interno



Fonte: projeto de impermeabilização

Essa grapa voltada para o ambiente interno fez com que se criasse um volume de argamassa em um local em que é previsto a colocação de isolamento acústico. Criando, assim, um porto de fragilidade no isolamento, devido ao fato da manta acústica especificada ser em placas espessas, e não em rolo. Para esse problema foram pensadas duas soluções, realizar a cobertura desse volume com o rodapé acústico, mais fino e mais flexível, porém com um desempenho acústico menor, ou realizar a retirada desse volume de argamassa após a colocação dos trilhos e das folhas de vidro. A retirada só poderia ser executada após a colocação das folhas de vidro devido ao fato de que, nesse momento, já estariam colocadas as cantoneiras no piso realizando a fixação lateral e o peso das folhas contribuindo para a estabilidade do sistema (cada folha pesa 300 kg).

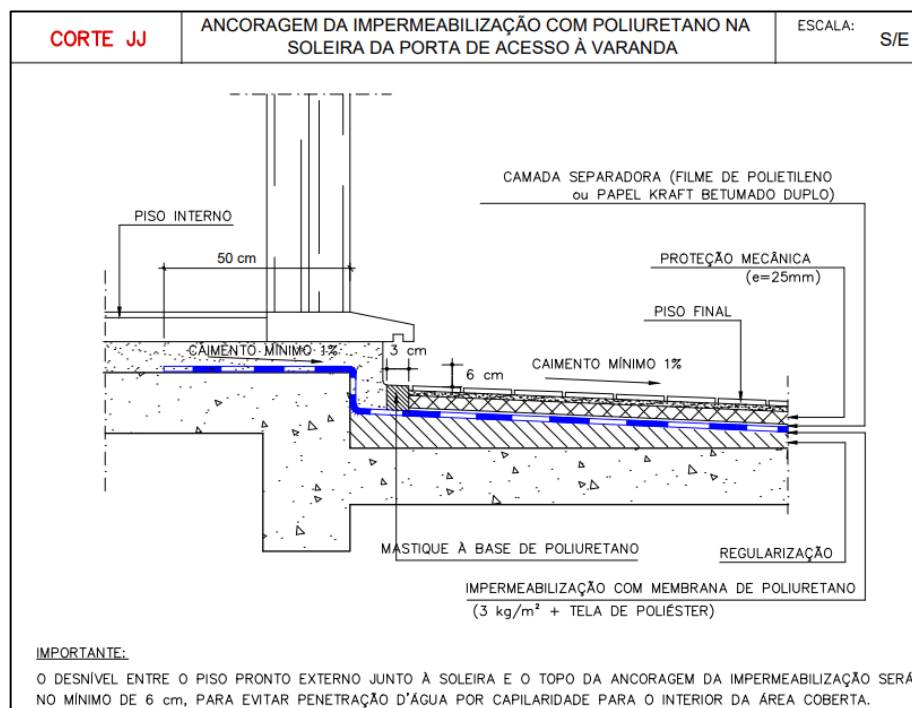
A obra, então, optou por realizar um teste e fazer a retirada do volume de argamassa de modo a permitir a melhor colocação possível do isolamento acústico. Essa retirada envolve o risco de afetar a impermeabilização e o custo de mão de obra envolvido na atividade, mas, ainda assim, foi considerada a melhor alternativa visto que não foi possível estimar qual seria a perda do desempenho acústico em caso de se seguir com a primeira opção.

Em relação à cantoneira, como a mesma possui função estrutural na esquadria, não foi possível realizar a retirada da mesma. A ação tomada planejada foi o corte do excesso da barra rosca e o envolvimento dela com o rodapé acústico.

### 6.3.1 MURETA DE ANCORAGEM DA IMPERMEABILIZAÇÃO

Também no living, com o andamento da obra, verificou-se um ponto apresentando problemas próximo aos trilhos da esquadria minimalista. Conforme é possível observar na Figura 68 e em seu corte J-J, mostrado na Figura 70, a impermeabilização com membrana de poliuretano avança 50 cm da parte externa da esquadria em direção a parte interna do apartamento. Porém, ao se observar o detalhe é possível identificar alguns equívocos de projeto:

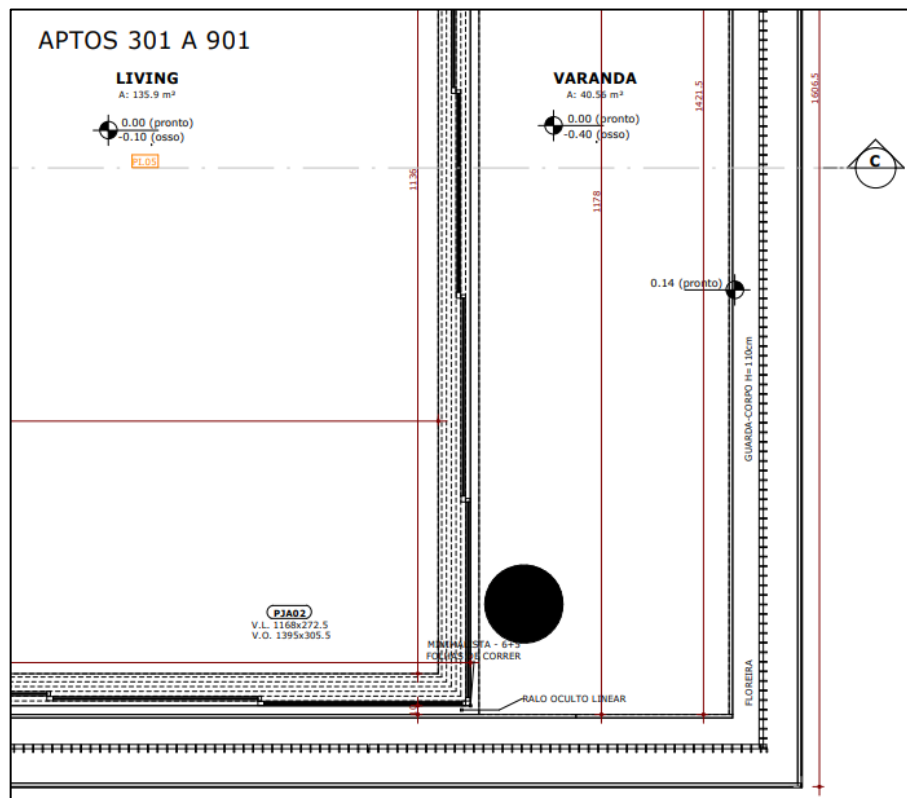
**Figura 70** - Corte do detalhamento de impermeabilização na varanda e living



Fonte: projeto de impermeabilização

1. O detalhe da impermeabilização pede, explicitamente, que haja um degrau separando a parte externa da interna, através da nota que diz o seguinte: “o desnível entre o piso pronto externo junto a soleira e o topo da ancoragem da impermeabilização será de no mínimo 6 cm, para evitar a penetração d’água por capilaridade para o interior da área coberta”. Esse desnível, porém, não está previsto no projeto arquitetônico, conforme Figura 71, que indica tanto o living quanto a varanda no nível “0,00” do pavimento.

**Figura 71** - Projeto arquitetônico com indicação de níveis

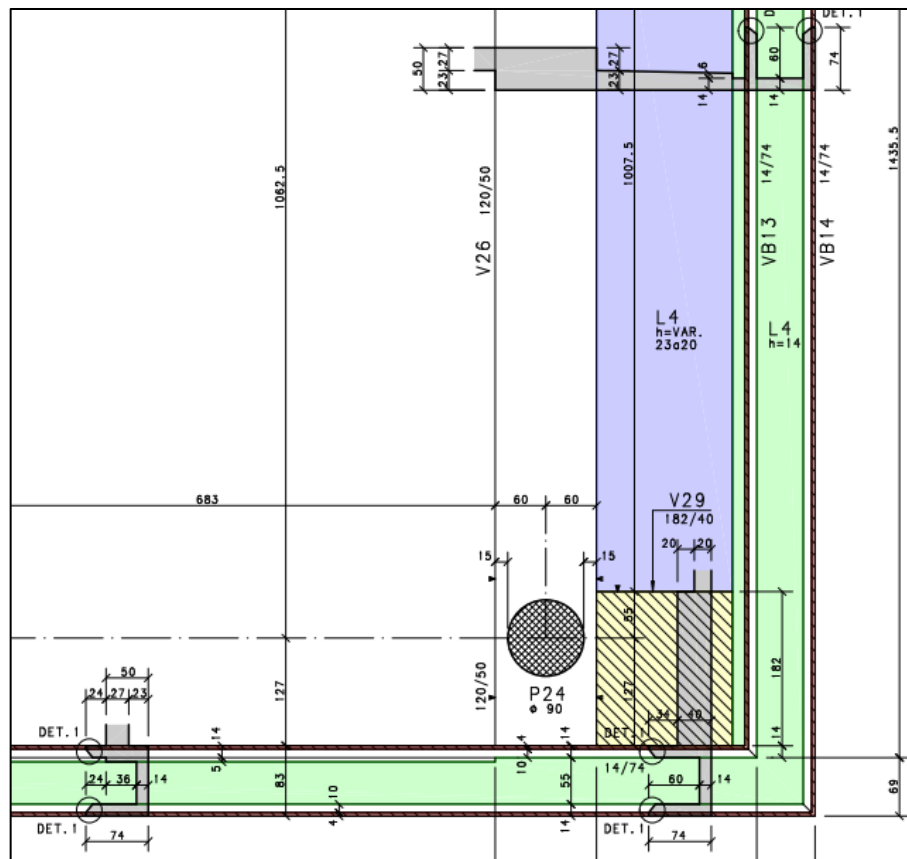


Fonte: projeto arquitetônico

2. O projeto estrutural prevê um desnível de 27 na área da varanda, conforme Figura 72. Este desnível é por funções estruturais (para diminuição de carga) na varanda, devido ao fato da estrutura estar em balanço nesta região. Nesse local é previsto a instalação de piso elevado para que o nível do piso pronto se mantenha. No entanto, esse desnível não é no mesmo alinhamento em que está locada a esquadria, inviabilizando, portanto, o detalhe do projeto de impermeabilização.

3. No projeto de impermeabilização é solicitado um caimento mínimo de 1% em direção a parte externa, tanto na área acima do degrau, quanto na área abaixo. É possível observar no projeto estrutural, que na área de baixo foi previsto um caimento, conforme Figura 72. Porém, na área acima do desnível não existe essa previsão, tendo a laje sido executada, então, totalmente nivelada. Todavia, devido à deformação natural da estrutura, como essa região está localizada bem acima de uma viga, a laje interna possui uma pequena deformação que faz o caimento ficar, efetivamente, voltado para a área interna.

**Figura 72 - Projeto estrutural com indicação de níveis**



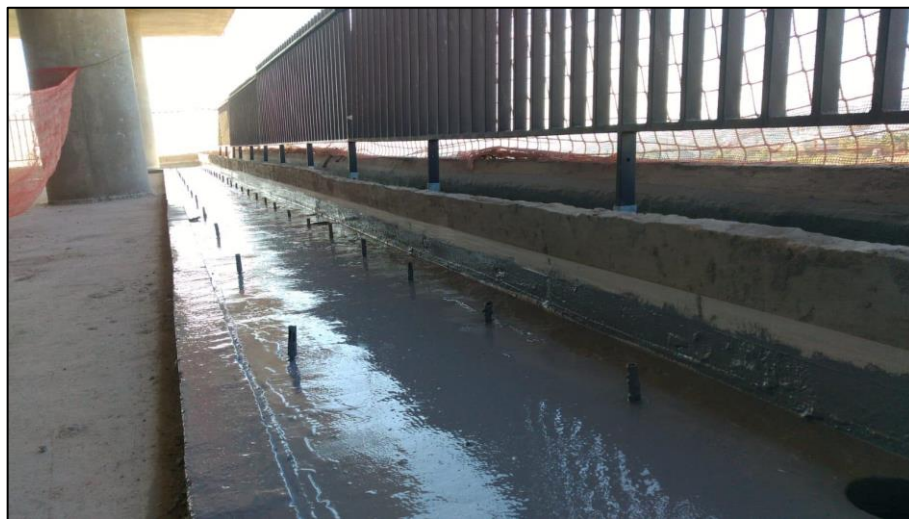
Fonte: projeto estrutural

Devido então, à falta de caimento e falta de ancoragem solicitada pelo projetista da impermeabilização, a obra, em conjunto com o empreiteiro de impermeabilização, optou pela colocação de um anteparo na laje, com o objetivo de servir como ancoragem para a membrana de poliuretano.

Como solução, escolheu-se uma mureta pré-moldada assentada com argamassa colante ACIII, devido a facilidade e rapidez na instalação e à sua resistência a possíveis impactos ao longo da obra. A mureta teve de ser comprada de um fornecedor terceirizado, com as medidas de 5x10x150 cm, e instalada com a menor dimensão no sentido vertical.

O objetivo da colocação da mureta foi fornecer um ponto de ancoragem para a impermeabilização, para que a água não adentre ao ambiente interno e cause manchamentos por umidade. Como a mureta possui 5 cm, e considerando aproximadamente 0,5 cm de argamassa colante e considerando alguma irregularidade na laje, temos que a altura total da ancoragem fica em 6 cm. O que mostra que a mesma fica embutida dentro do contrapiso, que possui entre laje osso e piso pronto o total de 10 cm. A Figura 73 representa o local onde o perfil da esquadria é colocado, contando com a presença da mureta para ancoragem, a impermeabilização em membrana de poliuretano e as barras roscadas para fixação e travamento dos perfis da esquadria.

**Figura 73** - Execução da impermeabilização com membrana de poliuretano, com a presença das barras roscadas e da mureta para ancoragem



Fonte: própria do autor

Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, executou-se um apartamento para servir de protótipo, tanto em relação à instalação da esquadria minimalista, que é o item de maior valor agregado da obra, quanto para o contrapiso e seu desempenho acústico.

O contrapiso no encontro com a esquadria foi executado e deixado em cura por 7 dias. Após esse período outros serviços passaram a acontecer no apartamento, fazendo com que, conseqüentemente, tenha ocorrido transito de pessoas e materias sobre o mesmo. Verificou-se, então, que nesse local o contrapiso fissurou e deslocou com bastante facilidade, devido à pequena espessura do mesmo, conforme a Figura 74.

**Figura 74** - Patologia causada no contrapiso devido à mureta



Fonte: própria do autor



Devido a este fato, após debates entre a equipe de engenharia, optou-se pela realização dessa faixa de contrapiso com o sistema de contrapiso aderido, buscado evitar as fissuras e deslocamentos decorrentes da pequena espessura. Para essa tomada de decisão dois pontos foram fundamentais. Primeiro o fato de ser uma pequena faixa de 50 cm próximo à esquadria, conforme Figura 75, que é o ambiente que faz a separação entre ambiente com tratamento acústico e sem. Segundo que a espessura total entre piso acabado e o final da laje de concreto possui 37 cm, sendo, muito provável, que apenas com essa espessura o sistema já atinja o nível superior da NBR 15575 (ABNT, 2021). Durante a execução deste trabalho a empresa responsável pelos testes acústicos ainda não havia sido contratada para a comprovação.

**Figura 75** - Faixa de contrapiso a ser executada de forma aderida



Fonte: própria do autor

**Figura 76** - Faixa de contrapiso executada de forma aderida



Fonte: própria do autor

#### 6.4 RESUMO DA ANÁLISE

Verifica-se a necessidade da compatibilização dos projetos, tanto arquitetônicos quanto complementares, desde o início da idealização do empreendimento para que problemas no momento da execução sejam evitados.

Problemas relacionados à conflitos entre esquadrias com conceito minimalista, projeto de drenagem e sistema de piso mostraram-se recorrentes durante a execução dos serviços. Somase a isso o alto nível de personalização dos apartamentos, que se tornam um desafio constante quanto a novas interferência e itens a se atentar, buscando o melhor desempenho do sistema.

Fica evidente a necessidade de uma equipe de execução de obra que tenha a capacidade de realizar debates e discussões dentro da equipe, com fornecedores e com projetista buscando sempre a melhor solução possível aos problemas que surgem com a execução, em função da dificuldade inerente do empreendimento.

## **7 MODELO PRÉ-EXECUTIVO DO CONTRAPISO FLUTUANTE**

Ao longo do acompanhamento do serviço em questão, o autor constatou a necessidade da verificação de múltiplos itens anteriormente à liberação da execução do mesmo. Essas verificações se referem a itens desde a concepção do projeto até a análise dos procedimentos executivos logo antes da execução do serviço, com o propósito de evitar problemas durante a execução.

Este modelo tem como objetivo ser um check list pré executivo do sistema de contrapiso flutuante. A análise deve ser executada ao longo da realização da obra, visto que itens como análise de projeto executivo e a compra de materias é realizada em uma fase bastante anterior ao início dos serviços, sendo executado idealmente por volta de 180 dias de antecedência.

Para que a liberação do serviço seja liberada, é necessário que todos os itens possuam a marcação “Sim” ou “NA” (Não Aplicável) no check list indicado na Figura 77, visando, dessa forma, ter-se a certeza de que materiais e procedimentos necessários para que o sistema cumpra com o desempenho esperado foram cumpridos.

**Figura 77** – Lista de verificação de início de serviço

<b>Lista de verificação - Pré execução de contrapiso flutuante</b> <b>Sistema de pisos</b> <b>ABNT NBR 15575-3:2013</b>		
1.	O empreendimento possui projeto de acústica?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
2.	Os materiais especificados no projeto de acústica possuem desempenho comprovado através de ensaios?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
3.	O desempenho está de acordo com o Perfil de Desempenho da Edificação (PDE) e com a NBR 15575?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
4.	O material está conforme o Plano de Controle Tecnológico (PCT) da empresa?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
5.	O empreendimento possui projeto específico para execução do serviço? Conferir informações como: níveis de piso, juntas de dilatação e locais com isolamento acústico.	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
6.	Todas interferências com projetos complementares foram debatidas e solucionadas? Conferir projetos de impermeabilização, gás, elétrica e hidráulica.	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
7.	O piso aquecido, elétrico ou hidráulico, foi contratado com empresa especializada?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
8.	Existe procedimento padrão de execução do serviço?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
9.	A equipe responsável pela execução do serviço foi treinada no procedimento?	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA
10.	Os materiais necessários para execução descritos no procedimento estão disponíveis na obra? Tais como, areia, cimento, tela metálica, lona, macrofibras, manta acústica e rodapé acústico.	
	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> NA

Fonte: elaborada pelo autor

## 7.1 MOTIVAÇÃO PARA AS QUESTÕES

Abaixo segue a justificativa da importância e motivação para as questões apresentadas na lista de verificação:

<b>Questão</b>	<b>Justificativa para a questão</b>
<b>1.</b> O empreendimento possui projeto de acústica?	É fundamental para a equipe se oriente em relação à compra de materiais necessários e especificados e técnicas de execução adequadas buscando atingir o desempenho especificado em projeto. O projeto de acústica deve atuar como principal documento ao longo da busca pelo desempenho esperado.
<b>2.</b> Os materiais especificados no projeto de acústica possuem desempenho comprovado através de ensaios?	É necessária a conferência do desempenho do material comprado através de testes para que se tenha a comprovação de seu desempenho.
<b>3.</b> O desempenho está de acordo com o perfil de desempenho da Edificação (PDE) e com a NBR 15575?	Ao ter conferido o correto desempenho conforme projeto, é necessário checar se esse desempenho confere com o especificado no perfil de desempenho da edificação (PDE) e com o desempenho esperado para o nível indicado no PDE conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021), para que caso haja alguma divergência, busque-se esclarecer qual documento seguir.
<b>4.</b> O material está conforme o Plano de Controle Tecnológico (PCT) da empresa?	Verificar, no momento da compra, se os laudos de ensaio estão aplicáveis conforme o programa setorial da qualidade (PSQ) e normas aplicáveis.
<b>5.</b> O empreendimento possui projeto específico para a execução do serviço? Conferir informações como: níveis de piso, juntas de dilatação e locais com isolamento acústico.	Necessário que, antes do início do serviço, seja discutido e estejam bem especificados os locais onde existirá isolamento acústico do sistema de pisos e detalhes executivos como locais de juntas de dilatação e níveis de piso. Erros nessa etapa podem ocasionar retrabalhos que comprometam o desempenho esperado.
<b>6.</b> Todas interferências com projetos complementares foram debatidas e solucionadas? Conferir projetos de impermeabilização, gás, elétrica e hidráulica.	Conferir, com projetos complementares, todas as interferências possíveis que possam existir e que estejam embutidas no contrapiso. Tais interferências podem ocasionar pontes acústicas que também comprometerão o desempenho projetado.
<b>7.</b> O piso aquecido, elétrico ou hidráulico, foi contratado com empresa especializada?	Item necessário de ser verificado com antecedência devido à especialização e complexidade da atividade. Equipe deve realizar reunião com responsáveis pela execução para alinhamento de processos executivos.
<b>8.</b> Existe procedimento padrão de execução do serviço?	Verificar disponibilidade de procedimento específico para a execução do serviço para estudo da equipe responsável e eliminação de possíveis restrições.
<b>9.</b> A equipe responsável pela execução do serviço foi treinada no procedimento?	O treinamento da equipe é fundamental para a correta execução dos serviços e para que haja o entendimento de todos os envolvidos em relação à importância do serviço executado e as consequências envolvidas na má execução.
<b>10.</b> Os materiais necessários para execução descritos no procedimento estão disponíveis na obra? Tais como areia, cimento, tela metálica, lona, macrofibras, manta acústica e rodapé acústico.	Realizar a conferência final de materiais necessários para a execução do serviço. Verificar a disponibilidade de todos materiais e se estão de acordo com todos os documentos conferidos ao longo do processo de planejamento e execução do serviço.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao chegar ao final deste trabalho, considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado. O estudo de projetos e documentos e o acompanhamento da execução do serviço forneceram as informações necessárias para a elaboração da lista de verificação desejada. Tal lista visa implementar uma rotina de conferência de itens relevantes para a execução do serviço, buscando a diminuição de problemas após o início do mesmo.

Recomenda-se a utilização, pela construtora, do sistema BIM, de forma a possibilitar a antecipação dos imprevistos relatados neste trabalho. Salienta-se que a implementação deve ser em um nível de detalhe grande, para que abarque as especificações de esquadrias e impermeabilizações.

Verificou-se também que, apesar do Perfil de Desempenho da Edificação (PDE) indicar o atendimento ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2021), o projeto acústico, especificação de materiais e gestão da qualidade da empresa a certificam, tranquilamente, a aumentar o nível proposto no PDE para superior.

Apesar da não realização de testes para a comprovação do desempenho acústico nas unidades habitacionais, pode-se, com base nos laudos dos materiais especificados e na bibliografia, inferir que os apartamentos se inserem dentro do nível de desempenho superior da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Por fim, recomenda-se a análise experimental do desempenho acústico do sistema em questão, visto que, devido ao cronograma de obras, não foi possível realizar o teste para verificar se a hipótese do desempenho acústico superior é cumprida.

## REFERÊNCIAS

AsBEA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho – ABNT NBR 15.575**. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ABNT NBR 15575 TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ABNT NBR 15575 TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-3: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Sistemas de Pisos**. Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ABNT NBR 15575 TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blücher, 2011.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de uma edificação e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BLACHERE, G. Savoir bâtir, Paris, Eyrolles, 1974 apud Jean-Luc CHEVALIER (a), Julien HANS (a). **Performance Based Approach French State or Art**, 2003. 343p.

CARVALHO, R.P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Arch-Tec, 2010.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientado para atendimento à ABNT NBR 15575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.—Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CORBOLI, N (2016). **A norma está pegando: Visando um produto imobiliário de melhor qualidade, construtoras estão descobrindo os caminhos para superar dúvidas e dificuldades para o atendimento da NBR 15.575:2013, a primeira norma a estabelecer parâmetros mínimos de desempenho e durabilidade para edificações habitacionais do País**. Revista Técnica, São Paulo.

DA COSTA, Ennio Cruz. **Acústica técnica**. São Paulo: Blücher, 2003. 144p.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-7: Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-5: Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation between rooms**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-7:** Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 7 Field measurements of impact sound insulation of floors. Geneva, 1998 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 717-2:** Acoustics - Acoustics rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Geneva, 2013 a.

LORENZI, Luciani Somensi. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MACHIMBARRENA, Maria. Comparison of acoustic regulations for housing and schools in selected countries in Europe and South America – A pilot study. Buenos Aires. Gonnet, 2016.

MATEUS, C. R. G. **Desenvolvimento de solução combinada de aglomerados com cortiça para subcamadas de revestimento e de lajeta com comportamento acústico otimizado.** 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2015. Acesso em: 04/09/22. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/79374/2/35494.pdf>.

MATEUS, Diogo. **Acústica de edifícios e controlo de ruído.** Textos de apoio à disciplina “Acústica Aplicada”, DEC-FCTUC, Coimbra, 2008.

MITIDIARI FILHO, C. V. (1998). **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NTI. **TM3 Tapping Machine.** Acesso em: 14/08/22. Disponível em: <http://www.nti-audio.com/en/products/noise-sources/tm3-tapping-machine>.

ODEBRECHT, Sílvia. **Projeto Arquitetônico.** Blumenau. Edifurb, 2006.

O Vidroplano. **Esquadrias minimalistas potencializam transparência,** 2020. Acesso em 12/09/22. Disponível em: <https://abrapidro.org.br/esquadrias-minimalistas-potencializam-transparencia/#:~:text=Boa%20parte%20dessas%20constru%C3%A7%C3%B5es%20tem,oferecidos%20pelo%20vidro%20sejam%20maximizados>.

PARISE, Carlos Henrique. **Desempenho acústico de sistemas de pisos quanto ao ruído de impacto: análise de soluções construtivas.** Trabalho de conclusão de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica. **Manual ProAcústica de Acústica Básica.** 2019. Acesso em: 04/09/22. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-acustica-basica/>



ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 Acústica**. 2013. Acesso em: 04/09/22. Disponível em: [https://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-proacustica-sobre-a-ABNT NBR 15575-dedesempenho-3edicao/](https://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-proacustica-sobre-a-ABNT-NBR-15575-dedesempenho-3edicao/)

PIRES, Henrique Lima. **Ruído de impacto de piso em edificações habitacionais**. IPT. São Paulo, 2022. IPT

RASMUSSEN, Birgit. **Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe**. Applied Acoustics, v. 71, n. 4, p. 373-385, 2010.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti dos. **Isolamento sonoro de partições arquitetônicas**. Santa Maria: Editora UFMS, 2012. 174 p.

Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC). **Regimento Geral do Sistema de Avaliação de Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Acesso em: 04/09/22. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/habitacao/pbqph/RegimentoGeraldoSIACAAtualizadoPortaria577demarode2021CapaOK.pdf>

SOUSA, Nelson Ricardo Vieira de. **Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008. Acesso em: 04/09/22. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/58314>.

VILLAS BÔAS, F. V. **As soluções estão disponíveis**. Entrevista concedida a CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. São Paulo.

VOGT, Fernanda Angst. Verificação do desempenho acústico entregável: Estudo de caso de empreendimentos de uma construtora de Porto Alegre/RS. Trabalho de conclusão de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.