

**LUIZ GUSTAVO MONTALVÃO GARBOSSA**

**Diretrizes e condutas para controlar a geração e propagação de ruídos  
advindos de sistemas hidrossanitários**

São Paulo  
(2018)

**LUIZ GUSTAVO MONTALVÃO GARBOSSA**

**Diretrizes e condutas para controlar a geração e propagação de ruídos  
advindos de sistemas hidrossanitários**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de MBA em  
Tecnologia e Gestão na Produção de  
Edifícios

Orientador: Prof Humberto Farina.

São Paulo

(2018)

**LUIZ GUSTAVO MONTALVÃO GARBOSSA**

**Diretrizes e condutas para controlar a geração e propagação de ruídos  
advindos de sistemas hidrossanitários**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de MBA em  
Tecnologia e Gestão na Produção de  
Edifícios

Área de Concentração: Sistemas Prediais  
Hidrossanitários

Orientador: Prof. Humberto Farina

São Paulo

(2018)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Garbossa, Luiz Gustavo Montalvão

Diretrizes e condutas para controlar a geração e propagação de ruídos advindos de sistemas hidrossanitários / L. G. M. Garbossa -- São Paulo, 2018.

114 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Patologia em construção 2.Desempenho acústico 3.Manifestação Patológica 4.Sistemas prediais hidrossanitários 5.Ruído I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

GARBOSSA, L. G. M. **Diretrizes e condutas para controlar a geração e propagação de ruídos advindos de sistemas hidrossanitários**. São Paulo. 2018. 114 p. (Especialização) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Poli-Integra São Paulo, 2018.

ERRATA

Dedico este trabalho à minha mãe Eliana Montalvão Simões Garbossa, que sempre me apoiou neste projeto, em todas as suas esferas.

Ao meu pai Luiz Carlos Duilio Garbossa, que me inspiro até hoje, e é fonte de geração do meu caráter e desenvolvimento.

Aos meus avós que são a base de toda a minha família.

Aos meus irmãos que evoluem e me acompanham em todos os momentos da minha vida.

Por fim, a todos os demais que tornaram possível este sonho ser, hoje, uma realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Devo este trabalho ao professor Humberto Farina, que me orientou e me disciplinou para realizar este trabalho e conseguir entregá-lo a fim de ajudar na minha formação e no auxílio de futuras dissertações.

Também quero agradecer à Universidade de São Paulo por dispor da biblioteca e de todos os meios e fontes bibliográficas necessárias para gerar um relatório com o maior número e qualidade de informações pertinentes ao tema.

Agradeço ainda a entidade da Poli-Integra, pois graças a ela foi possível a realização da minha pós-graduação com docentes tão renomados e experientes, podendo eu alegar que, são os melhores do país.

Quero agradecer também aos funcionários e colegas de turma curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Graças a eles tive o preparo e auxílio para a apresentação de seminários ao longo do curso e para a defesa da monografia.

Por fim, quero agradecer aos docentes do curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, pois graças a eles me tornei um profissional mais qualificado no mercado de trabalho e hoje me sinto mais preparado para resolver desafios nesta área tão nobre que é a construção civil.

Para ter um negócio de sucesso,  
alguém, algum dia,  
teve que tomar uma atitude de coragem.

Peter Drucker



## RESUMO

As construtoras, visando atender ao mercado brasileiro, tomaram diversas decisões que acarretaram na diminuição de custos na edificação, reduzindo a espessura das paredes e substituindo sistemas construtivos por mais econômicos, sem se preocupar com a questão da acústica das edificações. A Norma 10152 (ABNT, 2017), relativa ao assunto, existe desde 1987, contudo, não foi motivo de busca e preocupação das construtoras. Todavia, a partir da validação da Norma 15575 (ABNT, 2013) houve uma preocupação dos construtores em atender, também, a parte acústica das edificações, sendo parte delas relativas ao sistema hidrossanitário, para assim entregar um empreendimento com o desempenho requerido atingido. Devido à falta de preocupação, o tema em questão é algo pouco debatido e encontrado na bibliografia. Visando isso, fez-se um levantamento de patologias acústicas encontradas na literatura. Relatou-se que, em diversos casos, o som produzido foi de 50 até 90dB(A), valores que para a Organização Mundial da Saúde e as Normas 15575 e 10152, são valores inadmissíveis. A Norma 15575 (ABNT, 2013) aceita para dormitórios valores até 37dB(A) para pressões sonoras contínuas equivalente e 42 dB(A) para pressões sonoras máximas. O ser humano exposto à essa condição pode acarretar em sérios danos na audição além de efeitos colaterais como estresse, enjoo e insônia. Outro fato que pode ocorrer é o constrangimento entre vizinhos, como por exemplo, no caso do acionamento da válvula de descarga e ela gerar incômodo às pessoas próximas do evento. Com esse levantamento, encontrou-se as soluções adotadas no mercado brasileiro para atenuar este ruído, vindo desde a concepção arquitetônica, mudando a forma que os cômodos estão alocados no edifício, até a substituição do sistema convencional de PVC para o PEX (tubulações de água fria e quente) e o PVC mineralizado (esgoto sanitário). Verificou-se, através da bibliografia, o desempenho apresentado pelas soluções e comparou-as com o esperado pela Norma 15575 (ABNT, 2013) e analisou se atende ou não ao desempenho requisitado. Em diversos casos não foi possível obter resultado, por falta de dados e/ou ensaios dos fornecedores. Para solucionar o problema da construtora, verificou-se que a ação pode ser realizada na fase de projeto e na fase de execução, não analisando assim, neste caso, a fase de manutenção. Na fase de projeto, a Tabela 19 relaciona as causas e soluções cabíveis que, de acordo com o autor, se relacionam e mitigam o problema da melhor maneira possível. O mesmo ocorre na fase de execução e troca

do sistema, apresentados nas Tabelas 20 e 21 respectivamente. Com essas tabelas foi possível concluir que na fase de projeto existe uma maior amplitude na tomada de decisão, e vai diminuindo as opções de acordo com que as etapas de construção avançam. Faltam dados para a formalização de um guia completo, contudo, com os dados elencados neste trabalho, foi possível elaborar diretrizes capazes de orientar construtores e interessados no combate à geração de ruído advindo de instalações hidrossanitárias.

Palavras-Chave: Patologias em construção. Desempenho acústico. Manifestação Patológica. Sistemas prediais hidráulicos. Sistema hidrossanitário. Ruído. Sons.

## ABSTRACT

The construction companies, in order to serve the Brazilian market, made several decisions that led to lower costs in the building, reducing the thickness of the walls and replacing constructive systems for more economical, without worrying about the acoustics of buildings. The standard 10152 (ABNT,2017) on the subject has existed since 1987, however, was not a reason for search and concern of the builders. However, from the validation of Standard 15575 (ABNT, 2013) there was a concern of the builders to also attend the acoustic part of the buildings, being part of them related to the hydrosanitary system, in order to deliver a project with the required performance achieved. Due to lack of concern, the subject matter is somewhat debated and found in the bibliography. Aiming at this, a survey of acoustic pathologies found in the literature was made. It was reported that in several cases the sound produced was from 50 to 90dB (A), values that for the World Health Organization and Standard 15575 and 10152, are values inadmissible. Standard 15575 (ABNT, 2013) accepts values up to 37dB (A) for equivalent continuous sound pressures and 42 dB (A) for maximum sound pressures. The human being exposed to this condition can cause in serious damages in the hearing besides side effects like stress, nausea and insomnia. Even embarrassment between neighbors can happen, as for example, in the case of the activation of the discharge valve and it causes annoyance to people close to the event. With this survey, we found the solutions adopted in the Brazilian market to mitigate this noise, from the architectural design, changing the way the rooms are allocated in the building, until the replacement of the conventional PVC system for PEX (water pipes cold and hot) and mineralized PVC (sanitary sewage). Throughout the literature, the performance of the solutions was compared and compared with that expected by Standard 15575 (ABNT, 2013), analyzing whether or not it meets the requested performance. In several cases it was not possible to obtain a result due to lack of data and / or testing of suppliers. To solve the problem of the construction company, it was verified that the action can be carried out in the design phase and in the execution phase, thus not analyzing, in this case, the maintenance phase. In the design phase, Table 19 lists the causes and possible solutions, according to the author's study, the decision making. The same occurs in the execution and exchange phase of the system, presented in Tables 20 and 21 respectively. With these tables it was possible

to conclude that in the design phase a greater amplitude in the decision making is possible, and it diminishes the options of agreement that the stages of construction advance. There is a lack of data for the formalization of a complete guide, however, with the data listed in this work, it was possible to elaborate guidelines capable of guiding constructors and interested in combating noise generation from hydrosanitary installations.

Keywords: Pathologies under construction, acoustic performance, Pathological Manifestation. Hydraulic building systems. Hydrosanitary system. Noise. Sons.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1. Contextualização	14
1.2. Objetivo	17
1.3. Justificativa	17
1.4. Método	22
<b>2. RUÍDOS NAS EDIFICAÇÕES</b>	<b>23</b>
<b>3. CAUSAS DE RUÍDOS EM INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS</b>	<b>28</b>
3.1. Propagação de ruído na concepção do projeto	30
3.1.1. Dimensionamento de condutos forçados	31
3.1.1.1. Velocidade na tubulação	33
3.1.1.2. Excesso de pressão no subsistema hidráulico	35
3.1.1.3. Diferença de temperatura na tubulação de água quente	35
3.1.2. Dimensionamento de condutos livres	36
3.1.2.1. Sistema de Coleta de Esgoto e Água de chuva convencionais	36
3.1.2.2. Sistema de coleta de esgoto a vácuo	39
3.1.3. Projeto arquitetônico	43
3.1.3.1. Seleção da localização dos cômodos com água e local dos tubos de queda	43
3.1.3.2. Posicionamento da casa de bombas e do reservatório	48
3.1.4. Colocação dos aparelhos sanitários	50
3.2. Equipamentos e fenômenos envolvidos	51
3.2.1. Equipamentos	51
3.2.1.1. Aparelhos sanitários	54
3.2.1.2. Dispositivo de controle de fluxo	55
3.2.1.3. Bombas	56
3.2.2. Fenômenos envolvidos	57
3.2.2.1. Golpe de aríete	57
3.2.2.2. Cavitação	58
3.3. Suporte de equipamentos e tubulação	59
<b>4. AÇÕES DE PREVENÇÃO DE RUÍDOS</b>	<b>66</b>
4.1. Recomendações para projeto	66
4.1.1. Golpe de aríete	66
4.1.2. Criação de shafts e paredes hidráulicas	67
4.1.3. Isolamento acústico na passagem de lajes e vigas	67
4.1.4. Curvas de raio longo e amortecedores de vibração	71
4.1.5. Local dos tubos de queda e água pluvial	72
4.1.6. Velocidade de escoamento de tubulações água fria/quente	73
4.1.7. Trajeto das tubulações	73
4.1.8. Local de instalação dos aparelhos sanitários e dispositivos de controle de fluxo	74
4.1.9. Atenuação de ruído gerado pela queda de água do chuveiro	78
4.1.10. Local das Bombas e da Máquina de Lavar	78
4.1.11. Envelopamento de tubulações	80
4.2. Substituição de sistemas convencionais	86
4.2.1. PEX	86
4.2.2. PVC mineralizado	88
<b>5. CAUSAS X SOLUÇÕES</b>	<b>94</b>
5.1. Projeto - Prevenção	95
5.2. Execução - Remediação	100

5.3. Materiais e outros métodos construtivos.	103
6. <i>COMENTÁRIOS FINAIS</i>	106
7. <i>REFERÊNCIAS</i>	110

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como função esclarecer ao leitor a relevância deste tema, os principais tópicos relacionados à acústica em sistemas prediais hidráulicos, como eles são abordados nas normas e sua interferência na vida e saúde humana.

### 1.1. Contextualização

A procura de imóveis no Brasil fez com que as construtoras buscassem tornar o processo construtivo algo mais rápido e produtivo, com o intuito de conseguir que o preço do empreendimento seja compatível com as condições do mercado (ROCHA, 2018). Isso fez com que os edifícios ficassem cada vez mais altos e as unidades autônomas e os cômodos cada vez mais próximos uns dos outros (PAVANELLO, 2014).

Assim, reduz-se a espessura das paredes e lajes, preocupando-se somente na manutenção das condições de segurança estrutural, e obteve-se cômodos cada vez menores. Isso otimiza os espaços e aproxima unidades autônomas cada vez mais umas das outras, agravando-se a quantidade de edificações sem conforto acústico (PIERRARD; AKKERMAN, 2015 apud ROCHA 2018).

Outro fator importante que ocorreu nos últimos anos foi o aumento significativo dos centros urbanos, aglomerando-se um número maior de pessoas por área da cidade e, ao mesmo tempo, a qualidade de vida desses ambientes foi sendo mais requisitado pelos usuários crescendo assim, o número de reclamações de ruídos (MATEUS, 2008).

Nas edificações residenciais sem projeto acústico adequado, os ruídos emitidos por instalações hidrossanitárias são notados, independentemente do racionamento ou da classe social à qual se destina (ROCHA, 2018).

A NBR 10152 (ABNT,2017) existe desde 1987 e estabelece os níveis de ruído máximo admissíveis nos ambientes segundo o tipo de uso. Contudo, o mercado de construção civil nunca buscou atendê-la com soluções que pudessem alcançar os níveis estipulados nesta norma (PIKKERMAN; AKKERMAN, 2015).

No Brasil, a partir de 2013, este tema ganhou maior repercussão nacional devido à nova Norma de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013). Ela estabeleceu para as edificações habitacionais, limites e critérios mensuráveis a fim de

garantir e delegar obrigações, deveres e direitos à todas as partes envolvidas no processo (NBR 15.575, 2013), ou seja, os níveis de desempenho que os sistemas construtivos devem ter para serem aceitos (PIKKERMAN; AKKERMAN, 2015)

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) institui que os ambientes podem condicionar ao usuário conforto acústico e deve ser medido através de ensaios técnicos específicos. Menciona também que as tubulações hidrossanitárias devem gerar sons que não incomodem aos usuários, através de limites de percepção sonora, retirados da norma NBR 10152 (ABNT,2017).

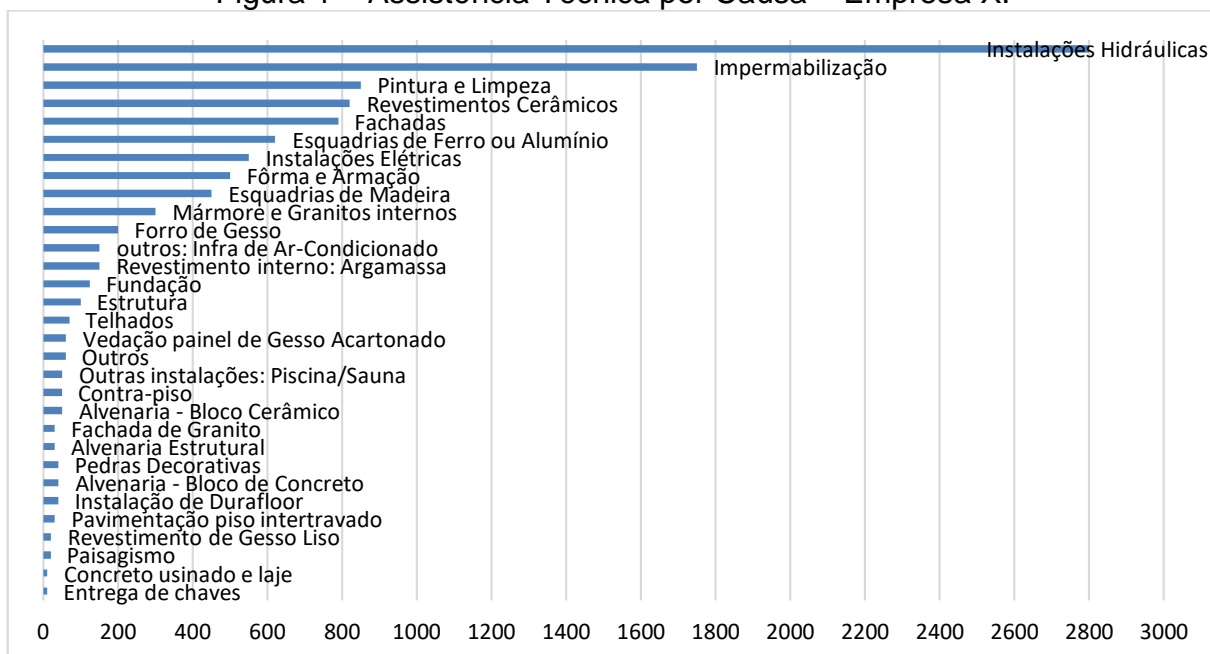
A NBR 15575 (ABNT, 2013) na sua parte seis em específico é direcionada para o tema deste trabalho, que é: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Ela incorpora todos os elementos e etapas envolvidas em todo o processo, aplicando-se aos sistemas que compõe edificações habitacionais, projetados, construídos, operados e submetidos à operação e manutenção (NBR 15575, 2013).

A parte de instalações hidrossanitárias é responsável por um grande número de patologias e geração de ruído. Ela se torna, portanto, um elemento de estudo, fazendo-se necessário um controle de todas as etapas envolvidas no projeto à fim de trazer uma análise do processo de execução e fabricação de edifícios.

O Gráfico da Figura 1 mostra um estudo realizado evidenciando as principais solicitações de assistência técnica pós ocupação devido às patologias em edificações durante o período de Janeiro de 2005 e Maio de 2008. Para preservar a identidade da empresa, esta será nomeada com empresa X.



Figura 1 – Assistência Técnica por Causa – Empresa X.

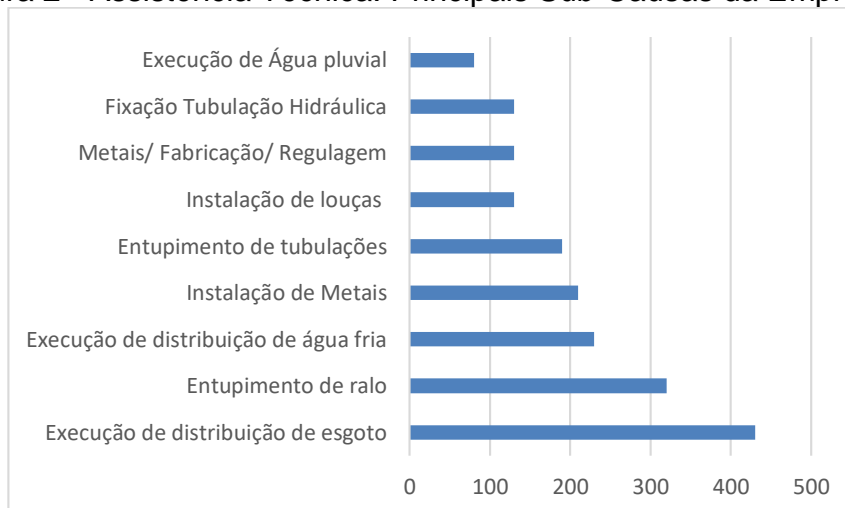


Fonte: SANTOS, V. A. L. dos; VAZQUEZ. E. G, 2010 –Adaptado.

Esta representação gráfica demonstra que a maioria das solicitações de acionamento de assistência técnica são devidos à problemas hidrossanitários. Nele estão incorporados todos os tipos de patologias, inclusive as relacionadas ao conforto acústico.

A empresa X elaborou ainda outro gráfico, encontrado na Figura 2, que menciona as chamadas sub-causas de instalações sanitárias, elencando as principais fontes de patologias dentro do item em questão.

Figura 2 - Assistência Técnica: Principais Sub-Causas da Empresa X



Fonte: SANTOS, V. A. L. dos; VAZQUEZ. E. G, 2010 –Adaptado.

O estudo em questão aponta as origens das patologias e suas principais sub-causas que influenciam no pedido de assistência técnica pós ocupação. Todavia, não mostra dentro de cada uma qual foi o motivo específico e conseqüentemente relata a dificuldade que profissionais e interessados têm de encontrar estudos relacionados em patologias acústicas em sistemas hidrossanitários ou seja, de encontrarem as informações necessárias no combate à mitigação de ruídos.

Sendo assim, através de estudos da bibliografia, procura-se elencar informações confiáveis afim de elaborar diretrizes no combate à geração e propagação de ruídos advindos de instalações hidrossanitárias. Este passo é o primeiro no combate à geração de ruídos deste sistema, e a partir deste, analisar o comportamento dos elementos envolvidos e projetos futuros necessários para um melhor desenvolvimento sobre o tema.

## **1.2. Objetivo**

Portanto, têm-se como objetivos:

- Desenvolver um conjunto de requisitos para a escolha de tecnologias e/ou recomendações de projeto para minimizar os ruídos em Instalações Hidrossanitárias.
- Analisar os critérios existentes no Brasil no combate à geração de ruídos em sistemas prediais hidráulicos de água, esgoto sanitário e de água pluvial, através de estudos da bibliografia.

## **1.3. Justificativa**

As instalações sanitárias são responsáveis diretas pelas condições de saúde e higiene requeridas para a habitação. Devem se harmonizar com deformidades estruturais, interações com o solo e características físico-químicas dos demais materiais de construção (NBR 15575, 2013). Segundo Gnipper (2010) o sistema predial hidráulico e sanitário (SPHS) é o conjunto de componentes destinados a conduzir e distribuir água para o consumo humano, permitir a sua adequada utilização e coletar os respectivos correspondentes efluentes para o seu destino final, de forma e local apropriados.

A incorporação deste sistema dentro do ambiente construído é algo relativamente novo para a sociedade (se considerado desde a concepção das primeiras construções realizadas pelo ser humano) tendo ocorrido a partir da segunda metade do século XIX (LANDI, 1993 apud GNIPPER, 2010). Este meio se tornou então uma área de avanços científicos e tecnológicos, mas a sua disseminação é algo lento e ineficaz, agravando em patologias e problemas construtivos (GNIPPER, 2010).

A concepção de mercado que este sistema tem é de que as patologias frequentes nos sistemas abordados não envolvem sérios riscos à saúde ou à vida dos seus usuários.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) a extensão do problema de ruídos é ampla. Nos países da União Europeia cerca de 40% da população é exposta ao ruído do tráfego, que é equivalente à uma pressão sonora excedente à 55 dB(A) durante o dia e cerca de 20% é exposto à níveis excedentes à 65 dB(A) (OMS, 1999).

A origem e geração de ruído são elementos nocivos à saúde humana (CARMO, 1999). Ele ocupa a terceira posição entre as doenças ocupacionais que afetam a sociedade (CARMO, 1999). Ele pode afetar os órgãos por meio de mecanismo direto, perda total ou parcial de audição, ou por meio de mecanismo indireto, ativando ou inibindo o sistema nervoso central e periférico (MEDEIROS, 1999). A Tabela 01 elenca as pressões sonoras equivalentes que o ser humano pode suportar no limite onde haja interferência em mecanismos indiretos.

Tabela 1 - Referências de ruídos por ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Consequências da exposição</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> dB(A)</b>	<b>Tempo Base (horas)</b>	<b>L<sub>Amax</sub> dB</b>
Área externa	Sérios aborrecimentos, durante o dia	55	16	-
	Médios aborrecimentos, durante o dia	50	16	-
Área Interna	Entendimento de fala e médio aborrecimento, durante o dia	35	16	
Dormitórios	Distúrbio de sono, durante à noite	30	8	45
Fora dos dormitórios	Distúrbio de sono, janelas abertas (valores externos)	45	8	60
Salas de aula	Entendimento de fala e distorção da informação coletada	35	Durante a aula	

Fonte: Organização Mundial da Saúde, 1999 - Adaptado

A quantidade de som absorvida pelo ser humano pode causar distúrbios em diversas áreas na forma indireta, além das elencadas na Tabela 01, sendo elas:

- 1- Distúrbio de comunicação: fazendo com que nos ambientes barulhentos, a comunicação verbal torna-se impossível;
- 2- Distúrbio de sono: segundo (SELIGMAN, 1993 apud MEDEIROS, 1999), os ruídos podem causar o chamado complexo “K”, fazendo com que a pessoa mude o seu estado de sono, saindo de um estado de sono profundo para outro mais leve;
- 3- Distúrbio Vestibular: Neste caso o ser humano pode apresentar vertigens, vômitos, suores frios, desmaios e dilatação das pupilas;
- 4- Distúrbio Comportamental: mudança de humor, ansiedade, depressão, estresse;
- 5- Distúrbio Digestivo: diarreia, prisão de ventre e náuseas;
- 6- Distúrbio Neurológico: tremores nas mãos, tremores nos olhos;
- 7- Distúrbio Cardiovascular: aceleração cardíaca, hipertensão arterial e ação do ruído sobre a gestação;
- 8- Alterações nos Reflexos Respiratórios: Altera o ritmo de entrada e saída dos gases do sangue, incluindo a pressão parcial de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no organismo.

A Tabela 2 demonstra o estudo elaborado por Pimentel Souza (1992) elencando o tempo que o ser humano consegue suportar de ruído durante determinado tempo de exposição evitando que haja a possibilidade da ocorrência de surdez.

Tabela 2 : Índices de decibéis que um ser humano pode suportar ao longo do tempo.

dB	Tempo	dB	Tempo
85	8 horas	98	1 hora e 15 minutos
86	7 horas	100	1 hora
87	6 horas	102	45 minutos
88	5 horas	104	35 minutos
89	4 horas e 30 minutos	105	30 minutos
90	4 horas	106	25 minutos
91	3 horas e 30 minutos	108	20 minutos
92	3 horas	110	15 minutos
93	2 horas e 40 minutos	112	10 minutos
95	2 horas e 15 minutos	114	8 minutos
95	2 horas	115	7 minutos
96	1 hora e 45 minutos		

Fonte: PIMENTEL – SOUZA, 1992 apud CARMO, 1999 – Adaptado

Analisado a dimensão deste problema, a Norma de Desempenho veio com o intuito de atender aos requisitos dos usuários, referindo-se aos sistemas incorporados nas edificações, deixando claro que o fator relevante é o comportamento em uso e não a prescrição de como os sistemas são construídos. Ela é baseada no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscando o atendimento de forma indireta, pensada através de definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, deixando a sua mensuração clara ao seu atendimento (ABNT, 2013).

Segundo a NBR 15575 (ABNT,2013), pode-se estabelecer ainda que, ela não se aplica a todos os tipos de edificação, sendo não exigida em:

- Obras já concluídas até a data de vigor da Norma;
- Obras em andamento na data de vigor da Norma;
- Projetos protocolados nos órgãos competentes até a data da entrada em vigor desta Norma;
- Obras de reformas;
- Retrofit de Edifícios;
- Edificações provisórias.

Como pôde-se notar, diversos tipos de edificações não necessariamente precisam atender à esta norma, deixando de ser realizadas em diversos tipos de empreendimentos. Este procedimento faz com que um grande número de moradias não atenda ao requisito mínimo necessário, deixando o usuário em um ambiente salubre.

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013) o requisito necessário para a aprovação do sistema, em dormitórios, é o mínimo (M). Existem ainda, para atingir um maior nível de desempenho, os coeficientes; intermediário (I) e superior (S), que se encontram nas Tabelas 3 e 4. A Tabela 3 se refere aos ruídos contínuos equivalentes no ambiente, enquanto a Tabela 4 trata dos valores máximos permitidos.

Tabela 3 – Valores máximos do nível de pressão sonora contínua equivalente

$L_{Aeq,nT}$ dB(A)	Nível de desempenho
$\leq 30$	S
$\leq 34$	I
$\leq 37$	M

Fonte: NBR 15.575, 2013

Tabela 4 – Valores máximos do nível de pressão sonora máxima

$L_{A\text{máx.,nT}}$ dB(A)	Nível de desempenho
$\leq 36$	S
$\leq 39$	I
$\leq 42$	M

Fonte: NBR 15.575, 2013

Para controle acústico em específico, para mensurar e encontrar os valores das Tabelas 3 e 4, utilizam-se ou a ISO 16.032 ou ISO 10.052 (métodos de ensaios acústicos, suas exigências e critérios de mensuração). Elas são responsáveis de relatar como deve-se realizar os ensaios afim de se obter se o ambiente analisado está de acordo com o desempenho esperado.

Esta norma trata o tema de forma direta prescrevendo o desempenho de sistemas completos dentro da edificação. Contudo, ela trata de forma apenas informativa no parâmetro relativo aos equipamentos sanitários envolvidos no sistema, não obrigando ao construtor o controle e informação de quanto cada equipamento gera além de que, segundo Rocha (2018), não existem estudos que comparam o desempenho acústico entre possíveis soluções disponíveis no mercado nacional para atenuar os níveis de pressão sonora oriundos de instalações hidrossanitárias em ambiente controlado e idêntico.

Além disso, a norma menciona de forma superficial quais são as principais fontes geradoras de ruído e como combatê-las, deixando este tema sem diretrizes eficazes para seu tratamento. Para tal é necessário a contratação de especialistas na área e na elaboração de projetos acústicos específicos.

A norma visa informar, em caráter não obrigatório, níveis de desempenho acústico aos ocupantes quando são operados equipamentos hidrossanitários (ABNT, 2013). Contudo, como pôde-se analisar, o maior volume de reclamações de ruídos advém desse sistema (CORRÊA; NIEMEYER, 2009 apud ROCHA 2018).

Devido à falta de informação no mercado e pouca exploração no estudo sobre a mitigação de ruídos advindos de sistemas hidrossanitários, viu-se necessário um estudo que informasse ao leitor uma seleção de requisitos suficientes para gerar

condutas no auxílio da tomada de decisões nas etapas de projeto e execução de edifícios, mitigando os ruídos das instalações hidrossanitárias.

#### **1.4. Método**

Até então escreveu-se sobre a importância e justificativa do tema, sua contextualização e os objetivos deste estudo.

Depois de averiguada a importância e objetivo do trabalho, o próximo capítulo relatará especificamente sobre o ruído. Como ele se propaga, suas origens, definições, e como ele atua em edificações.

O terceiro capítulo é o aglomerado de informações que relata as patologias advindas de sistemas hidráulico sanitários encontrados e as suas causas. Ele menciona aquelas advindas da concepção do projeto, dos equipamentos, dos fenômenos envolvidos e dos suportes relacionados para fixação de todos os elementos do sistema.

Com isso, no capítulo 4, elenca-se as tomadas de decisões mais comuns na construção civil afim de combater, minimizar ou mitigar ruídos advindos de sistemas hidrossanitários convencionais. Além disso, ele prescreve as tecnologias do mercado que vêm com o intuito de combater o ruído gerado por esses sistemas, sua eficácia e relação com o desempenho esperado.

Com essas informações, o capítulo seguinte elenca e relaciona as causas com as soluções propostas. Ele é dividido de acordo com o momento da tomada de decisão, sendo eles na concepção do projeto (prevenção) e na execução do empreendimento (remediação). Faz-se no final do capítulo uma análise das novas tecnologias e como elas atenuam as patologias levantadas. Assim, relata-se um parecer de qual decisão é melhor tomar em determinada situação, elaborando-se diretrizes e condutas no combate às patologias advindas de sistemas hidrossanitários.

Por fim, elabora-se uma conclusão sobre o tema em geral, as principais tomadas de decisão, problemas encontrados e futuras ações que podem ser feitas afim de agregar conteúdo a este trabalho e aos construtores de edifícios de multipavimento.

## 2. RUÍDOS NAS EDIFICAÇÕES

Este capítulo têm as informações necessárias para o entendimento de som e ruídos gerados em edificações e como ele se propaga em diversos meios, principalmente em ambientes internos dos empreendimentos.

Som é caracterizado como as flutuações de pressão em torno da pressão ambiente que o ouvido humano pode captar (MATEUS, 2008). O som perceptível varia na frequência entre 20Hz e 20kHz (NBR 16313, 2014) e a amplitude que ele varia faz com o que o som seja elencado em três grupos: infrassons, gama audível e ultrassons, aumentando respectivamente.

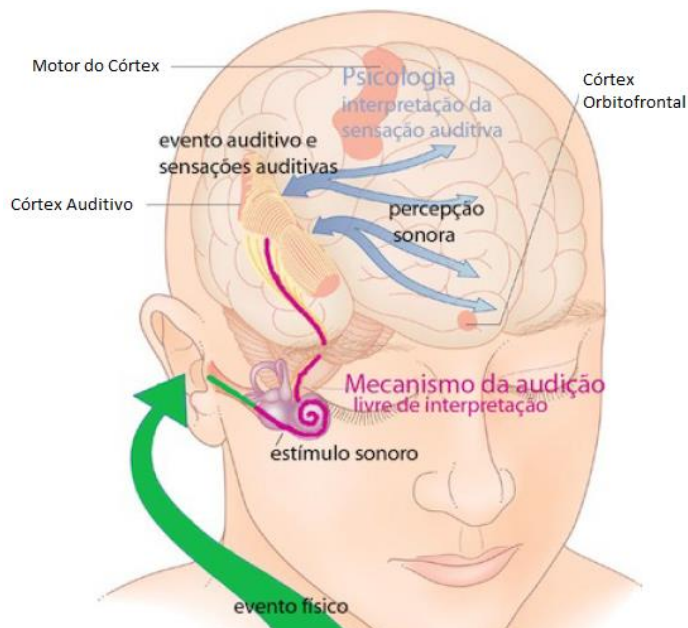
Encontra-se desde a pressão mínima de 20 $\mu$ Pa à pressão máxima (limite de dor) de 20Pa. Como existem muitos valores dentro deste intervalo torna-se inviável um estudo nesta unidade, ressaltando que a percepção humana não se comporta de forma linear. Então utiliza-se uma escala logarítmica de nível de pressão sonora em decibel (dB) (MATEUS, 2008).

Segundo Mateus (2008), a diferença entre som e ruído é subjetiva pois não depende apenas da frequência e da amplitude. Relaciona-se o som as sensações agradáveis e, o ruído, o oposto.

No cérebro humano ela percorre o caminho do ambiente externo até o interior, passando pela orelha externa, média e interna. Durante esse caminho, o evento auditivo é caracterizado por sensações auditivas e é transformado em percepções sonoras através de processos psicológicos (cognitivos e afetivos) (ROCHA, 2018). A Figura 3 mostra um esquema de como se comporta a pressão sonora dentro do ser humano, desde a orelha externa até o cérebro.



Figura 3 - Caminho que o som percorre no cérebro humano



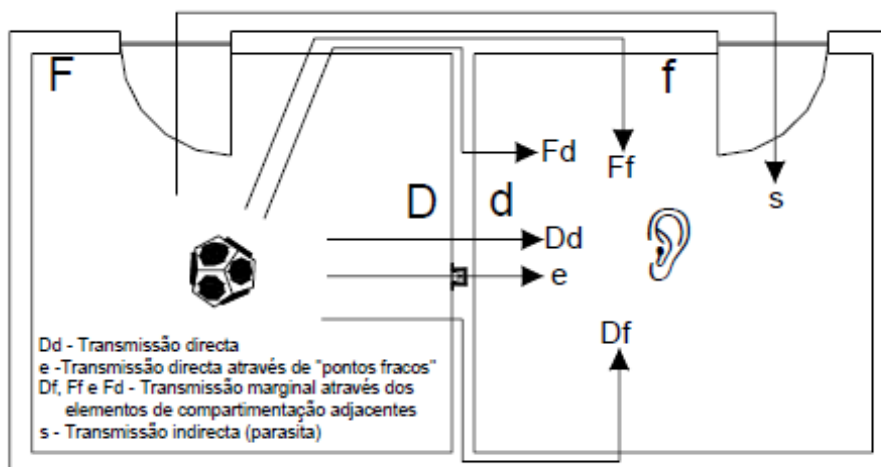
Fonte: PAUL, 2013 apud ROCHA, 2018

A propagação do som pode ser caracterizada através do nível de pressão sonora (dB) no ambiente. Depende das características da fonte, do envolvente, da reflexão e da transmissão para outros locais. A origem das fontes sonoras, de modo geral advém de ambientes abertos (sons que vêm de fora da edificação e chegam no interior do cômodo) e de ambientes fechados (sons que surgem dentro da própria edificação) (MATEUS, 2008).

A pressão sonora, num determinado ponto, além de depender da característica da fonte, depende das características do envolvente nomeadas de absorção, reflexão e transmissão para outros locais. Em ambientes fechados, os ambientes podem ser muito refletivos, fazendo com que quase toda energia radiada seja mantida no ambiente (reverberação), ou quando absorvem muito o som (anecóicas). Os ambientes das construções são considerados uma mistura destes dois tipos.

A Figura 4 mostra como um som pode se propagar dentro de um ambiente fechado e logo após uma lista de quais são as principais fontes de ruídos, tanto externos quanto internos:

Figura 4 : Caminho do som aéreo dentro de uma residência



Fonte: MATEUS (2008)

As fontes externas são, principalmente, segundo Josse (1975):

- Ruído dos aviões: existe um estudo de cada situação, dependendo da distância, do modelo do avião, aterrissando ou pousando, frequência do som, etc, mas para efeito de estudo preliminar pode-se estipular: 100dB;
- Trânsito de veículos: para fins de análise prévia sem condições específicas de contorno considera-se 83dB;
- Vias de circulação rápida;
- Via de circulação em zona urbana;
- Ruído de trens (+/- 90db);

Ainda mencionando Josse (1975), ele escreveu que as principais fontes internas são:

- Voz humana – considerando o som global pelo filtro A de 71dB, podendo aumentar 6 dB se falar um pouco mais alto e 12db se gritar; o acúmulo de pessoas pode acumular estes sons e cada som somado de mesmo dB coloca-se +3dB global.
- Aparatos de rádio, televisão, som... sendo som global na ordem de 60dB e se estiver alto 75dB;
- Instrumentos musicais: no caso do piano pode chegar à 86dB;
- Eletrodomésticos: podem ser de vários tipos;

- Instalações sanitárias e equipamentos em geral. Neste aspecto existem diversos elementos combinados que afetam e interferem no som ambiente. Seus valores de decibéis serão levantados nos itens respectivos a eles.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) trata de todos os sons advindos da edificação, tanto sons externos como internos. Não relacionado aqueles sons provenientes das instalações de água de incêndio, nem de equipamentos hidrossanitários instalados nas dependências da edificação cujo acionamento aconteça por ação do próprio usuário. Somente é analisado os sistemas envolvidos e equipamentos de uso coletivo ou acionados por terceiros que não o próprio usuário da unidade habitacional a ser avaliada (ABNT, 2013).

A norma brasileira NBR 15575 (ABNT,2013) determina que para medir os sons advindos da edificação e se gerar um relatório técnico, recomenda-se seguir o método de engenharia, a ISO 16.032, ou o método simplificado, a ISO 10.052.

O método simplificado (ISO 10.052) não informa o tempo de reverberação do ambiente de medição, o método de engenharia (ISO 16.032) informa de forma rigorosa os níveis de pressão sonora do equipamento predial em operação (ABNT, 2013).

Não existem normas brasileiras sobre medições de ruídos em instalações hidrossanitárias (ROCHA, 2018). Segundo Rocha (2018) o controle pelo método simplificado é inferior, apresentando-se maior incerteza, aconselhando-se usar o método de engenharia.

A ISO 16.032 especifica métodos de mensuração de pressão sonora especificamente para tubulações do sistema predial hidráulico sanitário *in loco*. Sua restrição é que os ambientes devem ter um volume menor do que 300m<sup>3</sup>, não utilizados em concertos, auditórios, ou salas grandes de convecção (ISO 16032, 2004). Neste caso ela se baseia na medição dentro de um ciclo completo de funcionamento para equipamentos que geram ruídos descontínuos (RAQUEL, 2018).

As medições para quantificar os níveis de pressão sonora  $L_{Aeq,nT}$  e  $L_{ASmax,T}$ , necessários para a Norma 15.575 (2013) são levantados através do método da ISO 16.032. Os principais pontos que devem ser analisados para se medir o som em ambientes são (RAQUEL, 2018):

- Nível de pressão sonora máximo  $L_{max}$ , em bandas de frequência de oitava, na ponderação A, utilizando o tempo de integração *S* (slow) ou *F* (fast);

- Nível de pressão sonora equivalente contínuo  $L_{eq}$ ;
- Nível de pressão sonora equivalente residual  $L_{eq}$ , isto é, com os equipamentos desligados;
- Tempo de reverberação  $T_{60}$  (tempo que o som persiste no espaço fechado devido às reflexões repetitivas ou devido ao espalhamento nas superfícies na sala (ROCHA;SILVA 2012 apud RAQUEL, 2018), ou seja, o intervalo de tempo necessário para decair 60dB após a interrupção da fonte de interesse (LONG 2005; ROCHA;SILVA 2012 apud RAQUEL, 2018)
- Nível de pressão sonora equivalente residual  $L_{eq}$ , isto é, com os equipamentos desligados em nível de ponderação A;

Analisando-se as fontes existentes de ruído hidrossanitário, características do som e como é realizado o ensaio, o próximo item prescreve uma abordagem detalhada do sistema no todo, relatando o levantamento das principais fontes de ruído encontradas na literatura e suas respectivas prevenções.

### 3. CAUSAS DE RUÍDOS EM INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS

Este capítulo elenca as principais fontes de ruído do sistema hidrossanitário. Relaciona-se métodos encontrados na bibliografia para se encontrar as principais causas as patologias, para assim, obter dados necessários para verificar as soluções encontradas no mercado.

Para se prevenir os ruídos nas tubulações é necessário primeiramente, um estudo e entendimento das patologias encontradas na bibliografia. É necessário também o estudo do sistema atuando em condições de desempenho esperadas, para analisar possíveis patologias que este sistema pode apresentar e erros e equívocos realizados na etapa de elaboração do projeto. A Tabela 5 mostra a origem genérica das patologias em construção.

Tabela 5 - Esquema simplificado de analisar patologias

<b>Falhas de projeto</b>	Falhas de compatibilização entre diversos projetos da obra	
	Falhas nos projetos propriamente ditos	Baixa qualidade dos materiais especificados ou especificação inadequada dos materiais
		Especificação dos materiais inadequada
		Detalhamento insuficiente, omitido ou errado
		Detalhe construtivo inexecutável
		Falta de clareza na informação
		Falta de padronização nas representações gráficas
		Erro de dimensionamento
<b>Falhas de gerenciamento e execução</b>	Falta de procedimento de trabalho	
	Falta de treinamento de mão de obra	
	Processo de aquisição de materiais e serviços deficiente	
	Processo de controle de qualidade insuficiente ou inexistente	
	Falhas ou falha de planejamento de execução	
<b>Falhas de utilização</b>	Utilização errônea dos sistemas Hidráulicas prediais	
	Vandalismo	
	Mudança de uso devido a novas necessidades impostas à edificação	
<b>Deterioração natural do sistema</b>	Desgastes naturais dos mecanismos de vedação dos componentes das instalações hidráulicas prediais	
	Desgastes devido ao uso	
	Deterioração dos materiais	

Segundo Soares (2010), patologia de edificações é a ciência que estuda as origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências da fase em que o edifício tem seu comportamento ou desempenho atuando abaixo do limite pré-estabelecido.

Conhecendo as patologias, organizando e coletando as informações necessárias para pleno entendimento do problema, através de ensaios, entrevistas com usuários, vistorias, entre outros é possível realizar um diagnóstico. Este compreende-se como a explicação científica das causas e efeitos dos fenômenos ocorridos, a partir dos subsídios levantados (SOARES, 2010).

Os subitens 3.1, 3.2 e 3.3 partem de um estudo para se realizar um diagnóstico, sendo eles direcionados respectivamente para:

- Concepção do projeto: envolve todos os projetos relacionados com o sistema; como o partido arquitetônico interfere; como são gerados e percebidos sons nestes sistemas, tomadas de decisão de projeto que influenciam no resultado de ruído gerado no sistema hidrossanitário;
- Equipamentos e fenômenos: envolve os componentes que fazem parte da instalação predial hidrossanitária; forma de atuação e funcionamento do sistema em condições projetadas de uso; equipamentos e aparelhos sanitários conectados às tubulações; fenômenos decorrentes do uso; a propagação do ruído em todos esses elementos.
- Sistemas de fixação de tubulações. Neste item foi abordado as abraçadeiras que sustentam o sistema, como elas são fixadas e características relevantes para as causas de patologias nestes aspectos.

A patologia construtiva pode ser classificada quanto à sua origem de duas maneiras, sendo elas endógena e exógena. Esta última é aquela advinda fora do edifício, provocadas por terceiros ou fenômenos da natureza como, por exemplo, exposição à radiação solar. A patologia endógena, por outro lado, é aquela que tem origem em fatores inerentes à própria edificação como, por exemplo, falhas decorrentes de projeto, gerenciamento e execução, dentre outras (GRANDISKI, 2007 apud GNIPPER, 2010). Os próximos subitens transcrevem exclusivamente das patologias endógenas.

### 3.1. Propagação de ruído na concepção do projeto

As causas relativas à elaboração do projeto são elencadas e analisadas neste subcapítulo. Serão abordados os subsistemas de água fria, água quente, esgoto e água pluvial. As normas vigentes são analisadas de acordo com os dimensionamentos encontrados na bibliografia e sua relação com a geração de ruídos. Componentes, materiais e forma de execução são temas elencados em outro subcapítulo.

Esta fase representa aproximadamente 40% das patologias verificadas nas edificações (GNIPPER 2010), sendo elas erros de dimensionamento, insuficiência ou inexistência de detalhes construtivos entre outros. Pode-se ressaltar também a falha de comunicação entre os projetistas e a inexistência de coordenação ou compatibilização de projetos com outros subsistemas da edificação (HERNANDEZ E AMORIM, 2003 apud GNIPPER, 2010).

Gnipper (2010) ainda afirma que anomalias posteriores podem surgir por falhas na concepção sistêmica, erros de dimensionamento, ausência ou incorreções de especificação de materiais e serviços e a falta de mão de obra especializada para este tipo de serviço.

A tabela 6 mostra todos os fatores atuantes em um sistema predial hidrossanitário (SPHS) que devem ser analisados na concepção do projeto com o intuito de elencar as principais origens das causas de patologia:

Tabela 6 - Fatores atuantes no SPHS

FATORES ATUANTES		
Sobre o SPHS	Por influência do próprio sistema	Pressão interna
		Temperatura
		Umidade
		Características físico-químicas
		Abrasão
		Sólidos
	Por influência do usuário	Esforços decorrentes do uso normal
		Esforços decorrentes do uso indevido
		Choques
		Sobrecarga durante o uso
Desgastes decorrentes de manutenção		

Tabela 6 – Fatores atuantes no SPHS – Continuação

FATORES ATUANTES		
Sobre o SPHS	Por influência de outros sistemas	Deformações
		Umidade
		Agressividade dos materiais
	Por influência do ambiente	Temperatura
		Presença de elementos indesejáveis
		Presença de animais
		Eletricidade estática
		Agressividade do solo
	Sobre outros subsistemas por influência do SPHS	Vibrações
Sobrecarregamentos		
Propagação de incêndio		
Sobrecarga elétrica		
Agressividade do solo		

Fonte: AMORIM, 1989 apud GNIPPER, 2010 – Adaptado

A Tabela 6 mostra todas as principais características que devem ser analisadas no dimensionamento de projetos analisando-se todas as patologias encontradas no sistema hidrossanitário. A questão do ruído está inclusa nesta tabela e é analisada cada origem das patologias encontradas na bibliografia.

### 3.1.1. Dimensionamento de condutos forçados

Sistemas de conduto forçado levam água para as unidades habitacionais através da diferença de pressão entre o ponto à jusante e montante, sendo estes adicionados de energia para chegar aos seus respectivos pontos de destino. Portanto, neste caso, a pressão que a água é submetida na tubulação é diferente da pressão atmosférica. Entende-se como tubulações com adicional de pressão os subsistemas de água fria, água quente e incêndio.

Não é abordado o subsistema de incêndio pois entende-se que devido ao baixo nível de patologias encontradas na literatura relativas à geração de ruído não se viu necessário um estudo mais aprofundado neste trabalho.

O fornecimento de água fria em edificações é considerado um subsistema do sistema de abastecimento de água para a população. Uma instalação



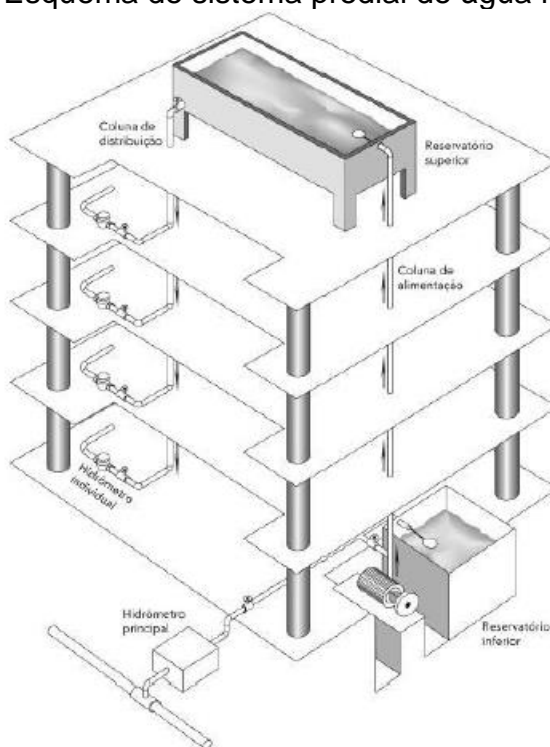
predial de água fria constitui-se de tubulações, aparelhos reservatórios e dispositivos destinados ao abastecimento de equipamentos e pontos de utilização de água da edificação, com qualidade e quantidade suficientes para atingir o desempenho requerido (CARVALHO, 2013 apud PAVANELLO, 2014).

Pode-se considerar a “extremidade” final do processo de abastecimento público onde se estabelece o elo com o usuário final (ABNT, 1998). A distribuição de água pode ser se efetuada por alimentação direta, indireta e mista, dependendo da pressão existente na rede pública e das necessidades de cada habitação.

A alimentação de forma direta consiste em receber água somente da rede pública, o indireto é um sistema particular de abastecimento, podendo vir de poços artesianos ou outra forma. O misto, parte do abastecimento se dá por meio do reservatório e alguns pontos são abastecidos diretamente pela rede pública (PAVANELLO, 2014).

A figura 6 abaixo mostra um sistema misto, o mais utilizado em prédios altos devido à grande diferença de pressão (MACEDO, 2015).

Figura 5 - Esquema de sistema predial de água fria – Misto



Fonte: CARVALHO, 2013 apud PAVANELLO 2014

Existe também as instalações de água quente, que são alimentados através do reservatório superior do sistema de água fria ou por dispositivo de pressurização (ABNT 7198, 1993). Mesmo ele não sendo obrigatório no Brasil (PAVANELLO, 2014) seu estudo é necessário pois ele apresenta patologias acústicas devido à diferença térmica que ocorre dentro da tubulação (ABNT, 1998).

Para realizar dimensionamento correto de tubulações de água fria e quente é necessário se atentar aos seguintes itens (ABNT, 1998):

- Preservar a potabilidade da água;
- Garantir fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidade compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e componentes;
- Promover economia de água e energia;
- Possibilitar manutenção fácil e econômica;
- Evitar níveis de ruído inadequados à ocupação do ambiente;

As principais causas de ruídos em condutos forçados são: velocidade na tubulação; excesso de pressão no subsistema hidráulico; diferença de temperatura (água quente).

Outras patologias são encontradas neste subsistema. Contudo, como ele se relaciona também com outras fontes causadoras de ruído, devido a outros fatores influenciadores, relacionou-se sua explicação com outros subintemes adiante, sendo as causas:

- Aumento abrupto da secção da tubulação;
- Curvas acentuadas;
- Passagem de fluído na tubulação.

#### 3.1.1.1. Velocidade na tubulação

Segundo a Norma 5626 (ANBT, 2013), se a água passar a uma velocidade menor que 3,0 m/s os ruídos gerados não incomodam os usuários, sendo quase imperceptíveis à audição humana.

Contudo, segundo Pavanello (2014), um determinante nesse item é o tipo de escoamento em que ele se encontra. O número de Reynolds determina se ele

é laminar ou turbulento. A Equação 1 representa as grandezas envolvidas no processo:

$$R = \frac{dv\rho}{\mu} \quad (1)$$

$R$  = número de Reynolds;

$d$  = diâmetro (m);

$\mu$  = viscosidade absoluta (kg/m.s);

$\rho$  = densidade do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

$v$  = velocidade de escoamento (m/s) .

Se o resultado, ou seja, o número de Reynolds, for menor do que 2.000 o regime é considerado laminar. Se for maior que 4000 é considerado turbulento. Os valores entre eles são considerados regime transitório (PAVANELLO, 2014).

Geralmente, os ruídos gerados por regimes laminares são baixos e não chegam a perturbar o usuário. Se a velocidade for 3,0 m/s (limite permitido por norma), considerando-se a viscosidade absoluta da água  $1,14 \times 10^{-3}$  kg/m.s e sua densidade  $1.000 \text{ kg/m}^3$ , para um diâmetro de 20 mm (dimensionamento comum para instalações de água fria) o número de Reynolds é, segundo a equação anterior:

$$R = \frac{0,02 \cdot 3 \cdot 1000}{1,14 \times 10^{-3}} = 52.631,57 \quad (2)$$

Demonstra-se então que é um regime turbulento e, portanto, gerador de ruídos (HOUTEN, 2003 apud PAVANELLO, 2015).

Em caso de curvas acentuadas e aumento abrupto da secção, as diferenças de pressão e de velocidade farão com que a tubulação vibre mais do que o normal e não perceptível. Com isso a intensidade repassada para os outros sistemas causa a produção sonora e a cavitação.

### 3.1.1.2. Excesso de pressão no subsistema hidráulico

Segundo Tavares (2011) a gestão da pressão nas tubulações hidráulicas é uma etapa determinante pois nos sistemas de abastecimento de águas o esforço predominante é a pressão interna. Ela origina tensões normais que atuam sobre a fronteira da tubulação provocando tração no material.

Elas são dimensionadas de acordo com a norma brasileira NBR 5626 (ABNT,1998) e devem seguir os seguintes parâmetros:

- A pressão em condições dinâmicas deve garantir o pleno funcionamento de todos os componentes do sistema. Em qualquer caso não deve ser inferior do que 10 kPa. Exceções na caixa de descarga que deve ser no mínimo 5 kPa e no ponto da válvula de descarga da bacia sanitária não inferior a 15 kPa;
- Não pode ser inferior à 5 kPa;
- Em condições estáticas não pode ultrapassar de 400 kPa;
- Sobrepressões devem ser calculadas e não pode ultrapassar 200 kPa.

Quando estes fatos não são respeitados, patologias ocorrem no sistema calculado.

A velocidade do fluido está ligada diretamente com a pressão em que ele se encontra. Tornando assim o excesso de pressão a origem de diversos sintomas oriundos do excesso de velocidade do sistema, em qualquer ponto do trajeto.

Analisando-se assim, as principais patologias acústicas deste item são:

- Ruptura da tubulação e geração de ruído;
- Mudança de escoamento laminar para turbulento, que gera ruídos.

### 3.1.1.3. Diferença de temperatura na tubulação de água quente

As diferenças de temperatura encontrada na tubulação de subsistemas de água quente podem ser geradoras de ruído. Chiados, rangidos podem ocorrer por um considerável tempo depois do uso de água (ABNT, 1998). Todos os materiais estão sujeitos aos efeitos de dilatação térmica, expandindo-se quando aquecidos e contraíndo-se quando resfriados (TIGRE, 2017).

O errado dimensionamento pode causar bolhas de ar e vapor dissolvidas na água. Quando passam pelos cilindros de água quente e aquecedores estas podem ser geradores de alto ruído, acarretando em incômodo aos usuários (ABNT, 1998).

### 3.1.2. Dimensionamento de condutos livres

Além do sistema de condutos forçados, existem aqueles que fazem o transporte de líquidos através da gravidade, entre eles o sistema de coleta de esgoto, água pluvial e dreno do ar condicionado.

O dreno de ar condicionado não será estudado neste trabalho pois segundo a bibliografia levantada neste trabalho não se encontrou uma quantidade significativa de patologias envolvidas nesse sistema.

O sistema de esgoto é o conjunto de acessórios e tubulações destinados a coletar e transportar as águas utilizadas na edificação para fins higiênicos e águas servidas. Também é para garantir o encaminhamento das gases provenientes dos líquidos passados pela tubulação para a atmosfera evitando o mesmo para os ambientes sanitários. (ABNT, 1993). Eles devem ser destinados para as redes de coleta de esgoto municipais.

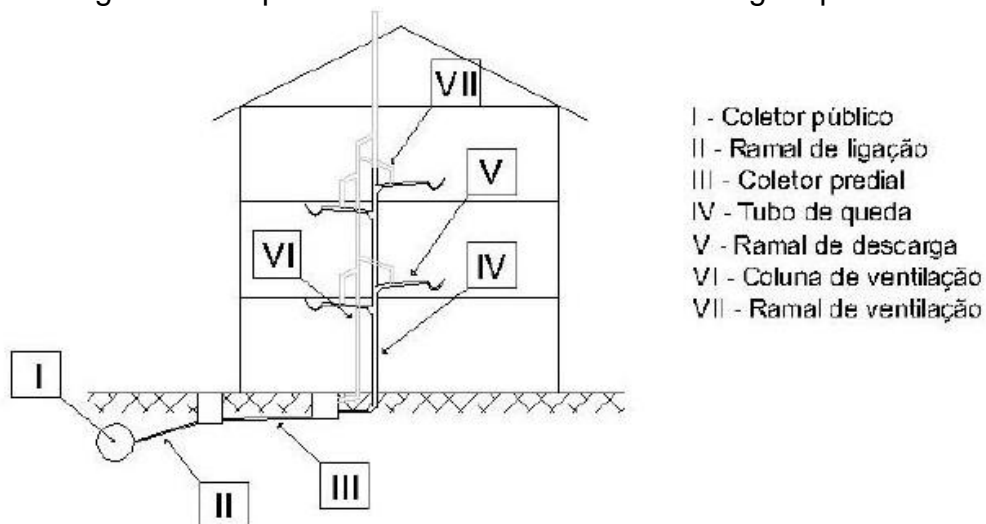
#### 3.1.2.1. Sistema de Coleta de Esgoto e Água de chuva convencionais

O sistema pode ser dimensionado de três maneiras; drenagem por gravidade, por elevação e sistema misto. O que interfere na escolha dos sistemas é o nível do lençol freático e o nível em que se encontra o coletor público da edificação (MACEDO, 2015).

O sistema por gravidade, como próprio nome diz é feita por gravidade e ocorre quando a saída de esgoto para o coletor está acima ou no mesmo nível que o destino final (MACEDO, 2015). Vale ressaltar que estima-se que todas as quedas das tubulações perante a norma 8160 foram respeitadas. O sistema por elevação é quando a saída de esgoto para o coletor público está abaixo do respectivo nível. Para tal é necessário. O sistema misto ocorre um pouco dos dois sistemas, fazendo-se a coleta dos pisos superiores na forma gravitacional e por elevação nos andares inferiores ao ponto de coleta de esgoto predial (MACEDO, 2015).

Para ilustrar os dois sistemas, a Figura 6 mostra o demonstrativo das etapas envolvidas no sistema gravitacional, o mais utilizado no Brasil.

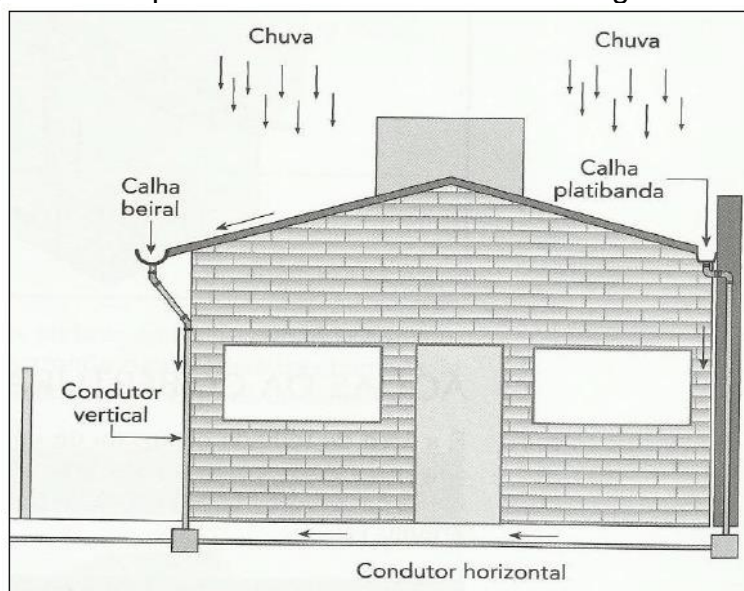
Figura 6 - Esquema detalhado de sistema de esgoto predial



Fonte: MACEDO, 2015

Já o sistema de águas pluviais são os responsáveis pela captação e transporte da água da chuva que não é infiltrada no solo (NBR 15527, 1989) e devem ser destinadas para a rede coletora de águas pluviais da cidade. A figura 7 mostra um esquema ilustrado de como funciona o subsistema de coleta de águas pluviais de uma residência.

Figura 7 - Esquema de sistema de coleta de água de chuva

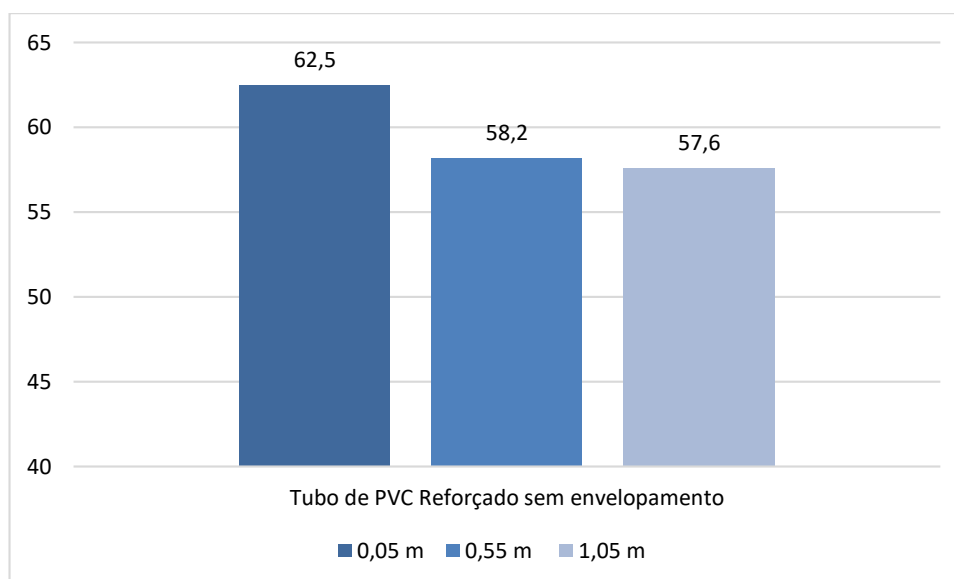


Fonte: PAVANELLO, 2014

O subsistema de coleta de esgoto e coleta de águas pluviais devem ser completamente separados entre si, não havendo nenhuma ligação entre eles (PAVANELLO, 2014). Os materiais mais utilizados nestes sistemas são de cano PVC, que para o esgoto deve ser de cor branca (PAVANELLO, 2014).

Lima, Dourado e Oliveira (2012, apud RAMOS, 2016) realizaram um ensaio, em local fechado, com instalação de PVC Série Reforçada (R), com o pé direito de 2,42m, onde foi instalada uma bacia sanitária com caixa acoplada, com uma altura de 3m, simulando uma edificação de 1 pavimento superior e 1 térreo com o intuito de encontrar o ruído produzido por esta tubulação. A Figura 8 relata o resultado do ensaio, em forma de gráfico, com um nível de ruído ambiente de 38 dB(A).

Figura 8- Níveis de pressão sonora (dB\*(A)) na tubulação de PVC (R)



Fonte: LIMA, DOURADO E OLIVEIRA (2012, apud ROCHA 2016)

Esse valor não pode ser comparado diretamente com a norma de desempenho 15575 (ANBT, 2013), pois foi medido no mesmo local de acionamento e está sem vedação. Contudo, serve de parâmetro para análise de possíveis tomadas de ação.

Como ele trabalha com a pressão atmosférica, os problemas levantados são diferentes dos condutos forçados. A cavitação, portanto, não é um problema gerado nesse sistema.

Contudo, em períodos de chuva, a tubulação de águas pluviais, principalmente de edifícios com grande altura e área de cobertura significativas, geram

um volume grande de água que escoam diretamente nas calhas que levam o fluído até os condutores verticais. Estes ganham velocidade de acordo com o decorrer da passagem e o atrito que ocorre entre a tubulação e o fluído geram esse ruído.

O mesmo acontece quando um aparelho sanitário, um lavatório, uma pia ou uma máquina de lavar são utilizados. No seu processo eles eliminam a água servida de forma rápida e abrupta, gerando um grande volume de dejetos por pouco intervalo de tempo. Eles passando por tubulações verticais ou horizontais geram ruídos.

Considerando as duas ocasiões, no momento que o tubo de queda muda da direção vertical para a horizontal há um choque intenso de volume de água na tubulação gerando uma grande vibração e ruído de impacto.

Então, para um resumo das principais causas encontradas em tubulações de condutos livres, deve-se analisar:

- Passagem de fluído no condutor vertical;
- Grande volume passando na tubulação em um intervalo curto de tempo;
- Mudança acentuada de direção.

#### 3.1.2.2. Sistema de coleta de esgoto a vácuo

Este trabalho se refere até então, quando mencionado sistema de coleta de esgoto, ao método de coleta por gravidade. Neste caso, a movimentação de resíduos se dá de forma natural, utilizando a força da gravidade.

O sistema de coleta de resíduos a vácuo foi registrado pela primeira vez em 1888, coletando as águas servidas por pressão barométrica. Sua aplicação comercial foi utilizada pela empresa Liljendahl-Electrolux na Suécia em 1959 (WANG: SHAMMAS, 2013 apud FERNANDES, 2015 apud RAMLOW & DA SILVA 2017).

Trata-se de um sistema que, segundo a AVAC 2005 (RAMLOW & DA SILVA 2017) quando um determinado volume de esgoto é acumulado no reservatório de esgoto da caixa de válvula, o ciclo de válvulas é acionado. A diferença de pressão entre o coletor principal e a atmosfera faz com que o líquido contido no reservatório de esgoto mais o ar contido dentro do coletor desloquem em alta velocidade para realizar sua coleta.

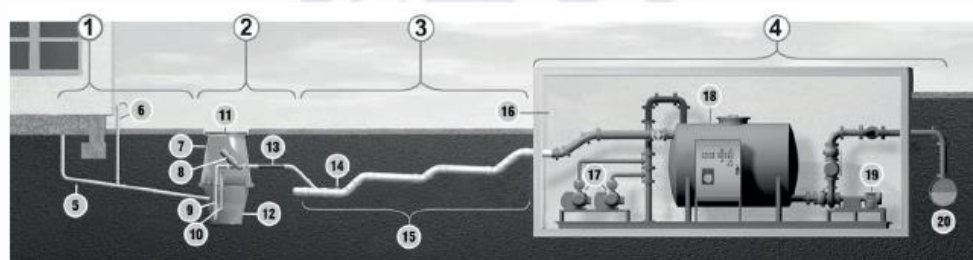
As principais vantagens levantadas sobre este sistema, segundo a NORBRA são: rapidez na instalação e custo de manutenção menor. Além destes o



uso de água para a eliminação de resíduos chega a 27% a menos (RAMLOW & DA SILVA, 2017) se comparado com o gravitacional. O sistema de esgoto a vácuo é mais indicado em casos onde o nível do lençol freático é elevado, solos compostos de rocha, zonas de proteção de aquíferos.

A Figura 9 mostra um esquema representativo explicitando as etapas envolvidas no sistema e seus principais elementos construtivos. Os itens mencionados nesta figura relatam como o processo se desenvolve ao longo do sistema:

Figura 9 - Esquema do Sistema de Esgoto a Vácuo



Legenda

a) Como o sistema opera

- 1 - Uma tubulação convencional por gravidade transporta o esgoto sanitário doméstico da economia doméstica até a caixa de válvula.
- 2 - Quando o volume especificado do poço de coleta de esgoto sanitário doméstico é coletado, a válvula abre e a diferença de pressão impulsiona o conteúdo do poço até a linha principal de vácuo.
- 3 - O esgoto sanitário doméstico atinge uma velocidade entre 4 m/s e 6 m/s na linha principal de vácuo. Esta é construída em forma de dente de serra para garantir níveis de vácuo adequados no final de cada segmento de linha. A seguir, o esgoto sanitário doméstico entra no tanque coletor. Quando o volume em seu interior atingir um nível preestabelecido, as bombas de recalque transferem o conteúdo até a estação de tratamento, através de uma tubulação de recalque.
- 4 - As bombas de vácuo ligam e desligam conforme necessário, a fim de manter um nível constante de vácuo em todo o sistema de coleta de esgotos sanitários domésticos.

b) Componentes do sistema

- 5 - Ligação por gravidade proveniente da economia doméstica
- 6 - Entrada de ar
- 7 - Caixa de válvula
- 8 - Válvula de interface
- 9 - Tubo de sucção
- 10 - Sensor de nível.
- 11 - Tampa da caixa de válvula
- 12 - Poço de coleta
- 13 - Conexão de serviço
- 14 - Rede de coleta a vácuo
- 15 - Perfil tipo dente de serra
- 16 - Estação de vácuo
- 17 - Bombas de vácuo
- 18 - Tanque coletor
- 19 - Bombas de recalque
- 20 - Linha de recalque

Norma 15710, 2009

Existe no mercado uma empresa chama JETS, que elaborou um sistema de esgoto a vácuo diferente do demonstrado na figura 20, e a empresa EVAC, que também é uma referência na produção deste sistema.

Na figura 10 é possível analisar que são necessárias duas bombas para o seu funcionamento, sendo uma a de bomba que aciona o vácuo no sistema e coleta os resíduos, e outra para recalque do fluido depois de passar pela primeira bomba.

No sistema abordado pela JETS, existe uma única bomba, capaz de realizar a parte de vácuo no sistema de esgoto e o recalque desse resíduo para a rede coletora predial, ou para sua destinação final, sendo caminhões de esgoto. Além disso, o sistema JETS dispensa o tanque de coleta a vácuo, necessitando assim menos espaço necessário para a implementação do sistema.

Figura 10 - Esquema de Esgoto a Vácuo – JETS



Fonte: JETS, 2018

As tabelas 7 e 8 farão um comparativo acústico entre as duas empresas em relação ao comportamento acústico no sistema de esgoto a vácuo. Na tabela 13 elencará as bombas necessárias para o funcionamento e seus respectivos ruídos no sistema e a Tabela 14 o ruído produzido ao acionar a válvula de descarga.

Tabela 7 - Pressão sonora produzida por bombas do sistema de esgoto a vácuo

MODELO DA BOMBA	SÉRIE	MARCA	PRESSÃO SONORA PRODUZIDA dB(A)
Minivac 2	6501743S30	EVAC	70
ME 60 50Hz	6500317	EVAC	66
ME 140 50Hz	6501594	EVAC	75
ME 105 50Hz	6500334	EVAC	75
ME 160	6500396	EVAC	70
ME 250	6500465	EVAC	75
ME 200	6500860	EVAC	75
ME 300	6500467	EVAC	77
Modelo 130 MB	-	JETS	52

Fonte: (JETS, ) e (EVAC, 2015) - Modificada pelo autor

Tabela 8 - Pressão sonora dos sistemas de esgoto a vácuo em operação

	EMPRESA	PRESSÃO SONORA PRODUZIDA dB(A)
<b>SISTEMA DE ESGOTO A VÁCUO</b>	EVAC	81-92
	JETS	69

Fonte: (JETS, ) e (EVAC, 2015) – Modificada pelo autor

As duas empresas apresentam valores distintos, sendo a empresa EVAC com valores maiores dos que os apresentados pela empresa JETS em ambas as tabelas 7 e 8.

A Tabela 7 mostra que as bombas apresentadas na empresa EVAC produzem um ruído na ordem de 70-75 dB(A) e a da empresa JETS uma bomba com ruído de 52 dB(A). Se comparado com a bomba centrífuga relacionada no item 3.2.1.3 a primeira está na mesma ordem de grandeza e a segunda empresa trabalha com uma bomba mais silenciosa.

A Tabela 8 mostra os dois sistemas em operação, e a empresa EVAC trabalha com ruídos na ordem de 81-91 dB(A) e a empresa JETS no valor de 69 dB(A). Este mostra que além de não os dois sistemas não atenderem a norma 15575, a empresa EVAC apresenta valores acima dos permitidos e aceitáveis na audição humana. De acordo com a tabela 02 o ser humano pode escutar 85 dB(A) durante 8 horas sem sofrer danos de surdez. Este sistema opera com ciclo menores do que

este, mas por se tratar de um som muito alto, pode gerar maior incômodo aos usuários.

Contudo, o sistema e as bombas envolvidas ainda não são valores suficientes para atender o desempenho mínimo da Norma 15575 (ABNT, 2013), que é de pressão sonora equivalente de 37 dB(A).

Considerando então todo o sistema a vácuo, elencou-se as principais características que este apresenta levando em conta a parte acústica dos elementos:

- Alta velocidade do fluido, cerca de 4 à 6m/s;
- Nova estação de coleta de esgoto (itens 17, 18 e 19) com o uso de bombas da figura 20;
- Alto ruído gerado no acionamento do sistema e nas bombas.

### 3.1.3. Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico é uma das etapas mais importantes e significativas de um sistema de produção de edifícios. Ele está envolvido em todas as etapas, sendo elas a fase de planejamento, implementação, uso, manutenção e a fase de sua demolição. A qualidade desta é fundamental para uma boa e eficiente produção predial, evitando assim, na maioria dos casos, danos e consequências indesejadas para os envolvidos no processo.

Segundo Gnipper (2010), num processo convencional de elaboração do projeto arquitetônico, não é reservado um espaço suficiente para o sistema hidrossanitário, dificultando a sua execução, sendo necessário alterações em relação ao projeto originalmente previsto além de dificultar a manutenção, que posteriormente pode ocasionar em patologias.

#### 3.1.3.1. Seleção da localização dos cômodos com água e local dos tubos de queda

Em edifícios de multipavimentos, a relação entre os ambientes escolhidos como áreas de desempenho requerido maior e os ambientes de uso dos sistemas hidrossanitários é o local onde podem surgir ruídos (PAVANELLO, 2014). Ocorre quando as instalações de água e esgoto advindas de ambientes como o

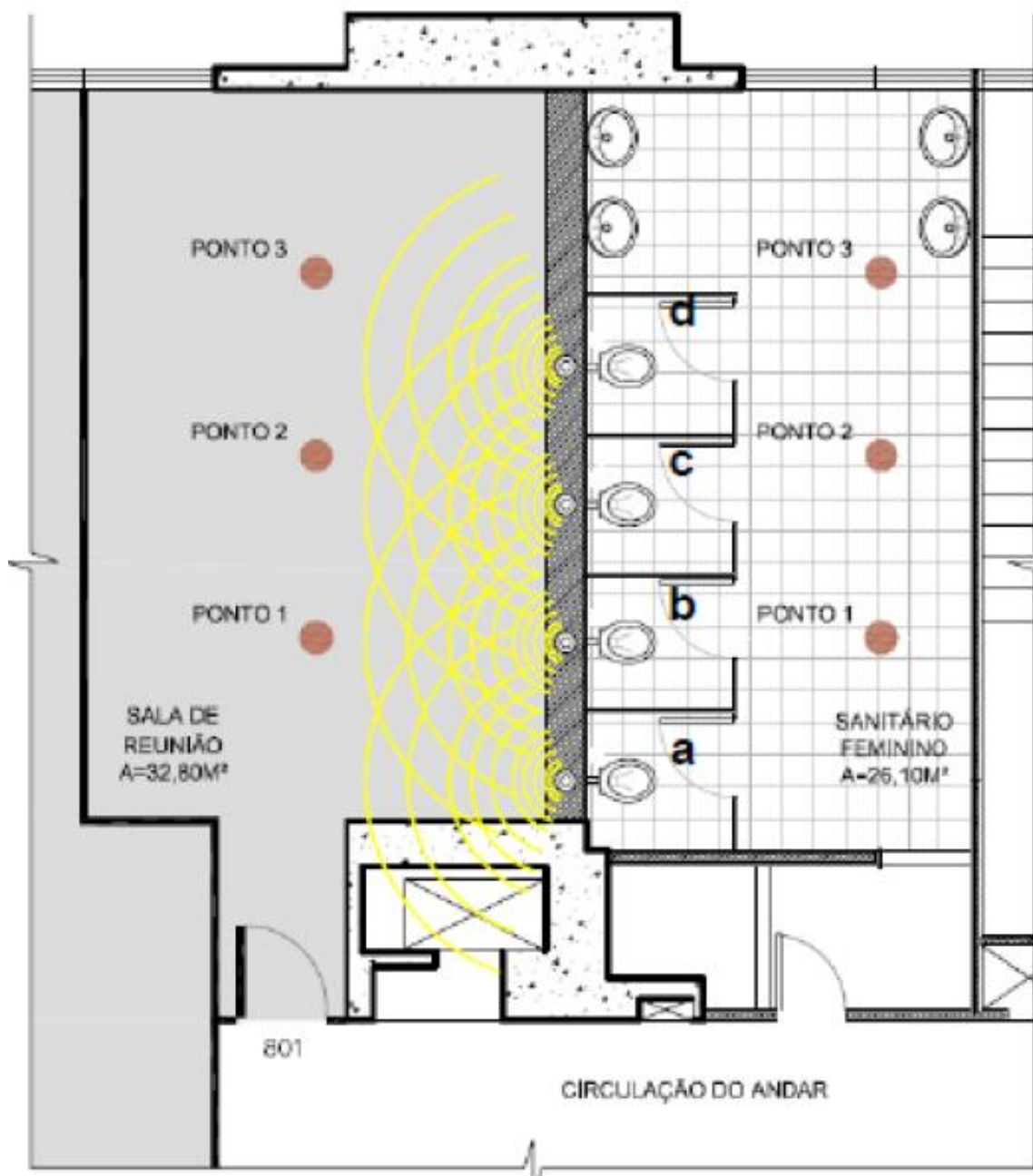
banheiro e cozinha estão em colocações diferentes se comparado com os andares adjacentes.

Quando o banheiro do andar superior está em ligação direta com ambientes como o dormitório, sala do apartamento ou até mesmo uma sala de reunião, o seu acionamento pode causar a propagação de ruído para os ambientes adjacentes. A Figura 11 exemplifica um acontecimento que ocorreu em um prédio comercial, onde foi realizado um teste de som entre um ambiente de sala de reunião e um sanitário feminino.

Este item interfere tanto que o som mais alto detectado no ensaio que eles realizaram chegou na ordem de 59,90 dB(A) (PAVANELLO, 2014). Como pode-se notar, muito além do permitido pela norma, que é de 37,00 dB(A) (ABNT, 2013).

Algumas características notadas na Figura 11 não são utilizadas com tanta frequência no mercado brasileiro, como o acionamento de descarga embutida na parede. Atualmente usa-se a caixa acoplada, atenuando-se o ruído transmitido pelas paredes. Contudo, não deixa de ser uma origem patológica, que o projetista deve-se atentar no dimensionamento

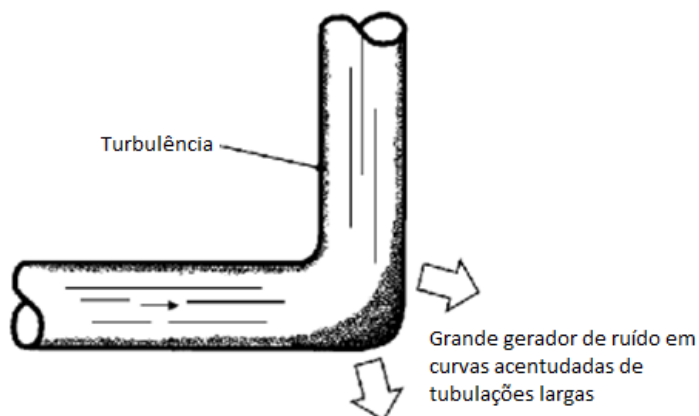
Figura 11 - Propagação sonora em ambientes próximos entre si



Fonte: CORRÊA E NEYMEIER apud PAVANELLO, 2014

Além do local escolhido dos ambientes relacionados entre si, deve-se atentar ao caminho que ele faz. Como mencionado anteriormente no capítulo 3.1.1, toda vez que a tubulação muda da vertical para a horizontal, gera um ponto de possível ruído. A Figura 12 representa um esquema de curva acentuada de 90°, muito utilizada em subsistemas hidrossanitários, onde a mudança de fluxo gerada por esta conexão gera um ponto possível de geração de ruído pois há a variação de pressão e velocidade (ENVIRONMENT PROTECTION DEPARTMENT, 2005).

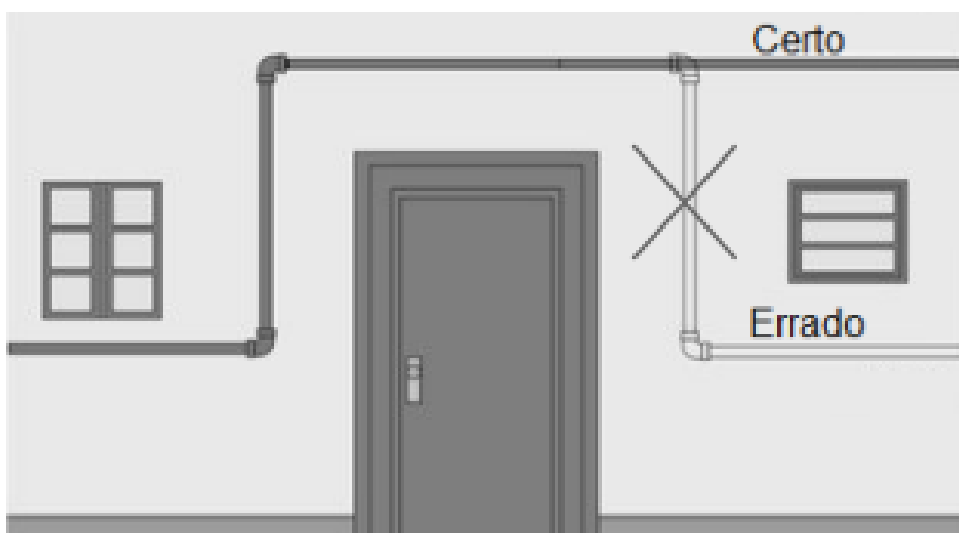
Figura 12 - Representação da curva acentuada em tubulações



Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT, 2005

O caminho que a tubulação percorre também é algo extremamente importante. Dependendo do caso ela pode ocasionar o que a literatura chama de “cavalete”. Segundo o manual técnico de instalação da TESIS & ASFAMAS (2016), ao realizar desvios, não fazer a montagem de instalações em forma de sifão invertido, pois causam a formação de bolsas de ar dentro da tubulação. A Figura 13 representa um caso onde a tubulação, fazendo o caminho errado, faz a formação do cavalete hidráulico, que por consequência gera ruídos no subsistema.

Figura 13 - Representação de Cavalete Hidráulico



Fonte: TESIS & ASFAMAS, 2016

A maneira que este sistema é encaixado e compatibilizado com os demais deve-se também ser analisado. Geralmente esse tipo de instalação é embutida nas paredes, rasgando-se as alvenarias e fixando-as com argamassas em alguns pontos. Posteriormente esses rasgos são tampados com argamassa até ficarem nivelados com a alvenaria e revestidas com o mesmo acabamento das áreas frias, ou seja, cerâmica. Com isso, se a tubulação precisar de manutenção, a parede deverá ser rasgada e todo o revestimento retirado no seu local de passagem (PAVANELLO, 2014).

Outro fator que pode ocorrer, somente com as tubulações de água quente, é a geração de ruídos devido à dilatação térmica da tubulação. Quando ela está conectada diretamente com a alvenaria e/ou revestimento de vedação, sua expansão pode acarretar em geração de ruídos, ou até mesmo em fissuras e trincas na parede (ABNT, 1998). A Figura 14 e 15 mostram como a instalação das tubulações hidráulicas são realizadas em diversas construções.

Figura 14 - Rasgo em paredes devido à passagem de tubulação



Fonte: PAVANELLO, 2014



Figura 15 - Rasgo em paredes devido à passagem de tubulação



Fonte: PAVANELLO, 2014

Os andares chamados de primeiro e último devem uma atenção diferenciada, pois eles estão próximos às áreas comuns e nelas existem equipamentos do prédio, como bombas e áreas de lazer que geram ruído e interferem na qualidade do ambiente e no desempenho esperado. Segundo Pavanello (2014) a diferença entre as alturas dos apartamentos altera as pressões e velocidades da água nos aparelhos. Os andares com altura mais próxima do ruído do tráfego, os primeiros geralmente, o ruído de fundo aumenta, alterando os valores encontrados de ruído de fundo, alterando assim os valores encontrados de pressões equivalentes (PAVANELLO, 2014).

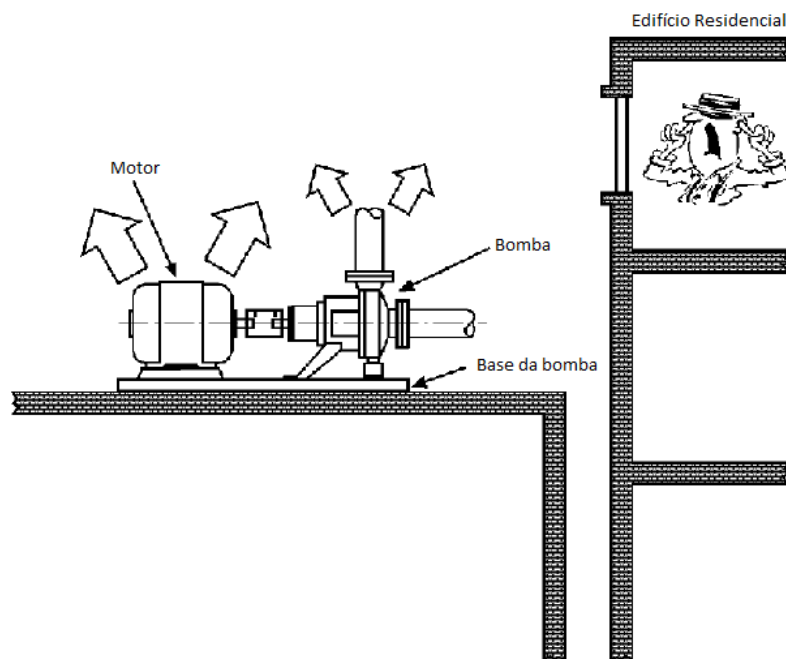
#### 3.1.3.2. Posicionamento da casa de bombas e do reservatório

Este é outro fator que interfere na questão da acústica em edifícios residenciais. Neste caso a distância e a ausência de barreiras físicas entre a casa de bombas e local de inspeção, torna o caminho do ruído propício à chegada aos cômodos dos usuários, gerando incômodo (ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT, 2005). Neste caso tanto a tubulação quanto a própria bomba são as fontes geradoras de ruído, como mostra a Figura 16.

Outros elementos como o reservatório de água superior e inferior também fazem parte desta análise, pois são compostos por bombas e geram sons de intensidade elevada que agem diretamente nos cômodos próximos. A tabela 16, que fala sobre bombas, mostra os ruídos gerados diretamente dela, e como pode-se ver pela Figura 14, o fato de ela estar acionada gera vibrações na estrutura de sua base,

transmitindo ruído para as habitações vizinhas (ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT, 2005).

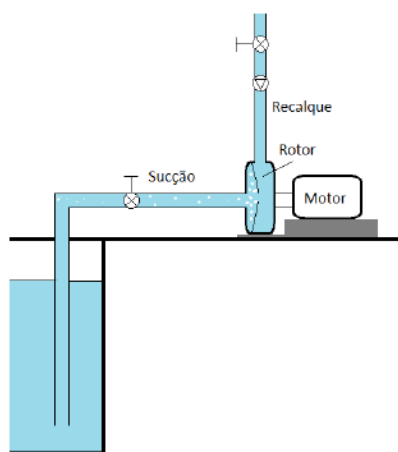
Figura 16 - Representação do incômodo sonoro transmitido pelas bombas



Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT, 2005 - Adaptado

Além do ruído gerado pelo fato de seu pleno funcionamento, o posicionamento da bomba pode acarretar, segundo Soares (2010) no surgimento de cavitação. Isso ocorre quando as bombas centrífugas trabalham de acordo com a Figura 17, gerando pressões negativas na entrada do rotor devido à sua posição.

Figura 17 - Representação da formação do fenômeno da cavitação em bombas



Fonte: SOARES, 2010

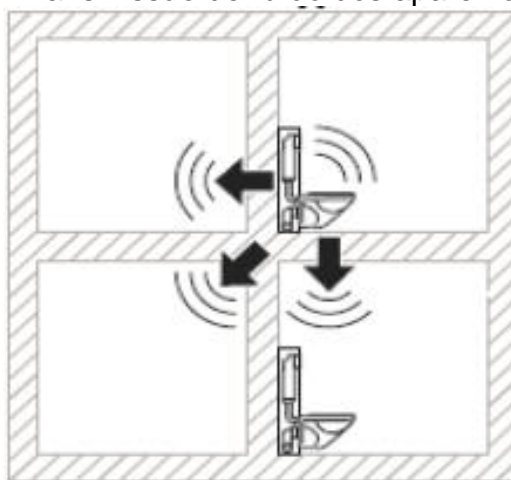
Sendo assim, para efeito de análise das fontes de ruído de som pode-se destacar neste sistema:

- O acionamento da bomba por si gera ruído;
- A vibração que ela causa na estrutura gera ruído;
- O acionamento entrada e saída de água do sistema de forma abrupta também gera ruído.
- Pressões negativas geram cavitação, que essas geram ruído.

#### 3.1.4. Colocação dos aparelhos sanitários

Este subitem se trata da instalação dos equipamentos sanitários. O mais usual destacado neste tipo de execução é o seu assentamento direto na estrutura. Este tipo de colocação gera ao sistema uma vibração toda vez que ele é utilizado. Essa vibração é transmitida para o sistema de estrutura do edifício, gerando ruído e até incômodo nas dependências adjacentes (DANCHENKO, 2016). A Figura 18 detalha este tipo de fenômeno.

Figura 18 - Transmissão de ruído dos aparelhos sanitários



Fonte: DANCHENKO, 2016

Na questão de análise acústica deste item pode-se destacar:

- Transmissão de ruído através de vibração;
- Transmissão de ruído através do ar;
- Transmissão de ruído através do funcionamento da descarga.

### 3.2. Equipamentos e fenômenos envolvidos

O item 3.1 abordou os principais eventos patológicos relacionados com a concepção do projeto. Este, contudo, trata dos equipamentos envolvidos no sistema e os principais fenômenos que ocorrem no seu funcionamento.

#### 3.2.1. Equipamentos

Também fazem parte do sistema hidráulico os equipamentos. Eles são denominados como peças e elementos que constituem o sistema de utilização de água e de eliminação de água utilizada. Estes causam impactos diretos na utilização e no dia a dia dos usuários, e em cada um destes aspectos será abordado um estudo de impacto sonoro e tipo de transmissão de ruído (ABNT, 2013).

A Tabela 9 mostra os equipamentos aderidos ao sistema mais comuns que causam ruído quando acionados:

Tabela 9 - Equivalência sonora por equipamentos prediais

<b>dB(A)</b>	<b>Equipamento</b>
50-75	máquina de lavar roupa
50-75	condicionador de ar
55-70	máquina de lavar louça

Fonte: Center for Hearing and Communication , 2018 - adaptado

A norma 15.575 não considera obrigatório avaliar os níveis de desempenho acústico aos ocupantes quando são operados equipamentos hidrossanitários instalados nas dependências da edificação (ABNT, 2013). Estipula também, em seu anexo, os métodos para fazer essa avaliação.

O ruído gerado por um equipamento predial deve ser medido somente entre unidades autônomas diferentes (ABNT,2013). No caso de um usuário da propriedade usar o equipamento e escutar o ruído em outro ambiente do mesmo local habitacional, este valor não é medido. Contudo, esse item pode gerar constrangimentos às pessoas envolvidas. Um exemplo comum deste fato é quando

uma visita do morador da unidade utiliza o lavabo e as pessoas próximas escutam o acionamento dos equipamentos envolvidos. Outro exemplo é quando se utiliza a máquina de lavar localizada na lavanderia e escuta-se seu funcionamento da sala ou do dormitório, gerando desconforto aos envolvidos.

Para ensaio dos equipamentos envolvidos no sistema hidrossanitário, a Tabela 10 elenca as principais pressões medidas. As pressões sonoras encontradas com o equipamento em operação são a pressão equivalente padronizado e a sonora máximo (ABNT,2013). Com o equipamento fora de operação, o valor que se deve encontrar é a pressão sonora equivalente do ambiente interno, sendo denominado também de som residual (ANBT,2013). A metodologia de ensaio é pela ISO 16.032, através do método de engenharia.

As Tabelas 11 e 12 relatam quais valores devem ser obedecidos afim de se construir um ambiente relativo com o nível de desempenho requerido, sendo entre mínimo e o superior, aumentando seu grau de isolamento acústico de forma crescente.

Tabela 10 - Denominação de símbolos

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L_{Aeq,nT}$	Nível de pressão sonora equivalente, padronizado de equipamento predial	ISO 16032	Ruído gerado durante a operação de equipamento predial
$L_{ASmáx.,nT}$	Nível de pressão sonora máximo, padronizado de equipamento predial	ISO 16032	Ruído gerado durante a operação de equipamento predial
$L_{Aeq,ai}$	Nível de pressão sonora equivalente no ambiente interno, com equipamento fora de operação	ISO 16032	Nível de ruído no ambiente, com o equipamento fora de operação

Tabela 11 - Nível de pressão sonora equivalente

$L_{Aeq,nT}$ dB(A)	Nível de desempenho
$\leq 30$	S
$\leq 34$	I
$\leq 37$	M

Fonte: ABNT, 2013

Tabela 12 - Nível de pressão sonora máxima

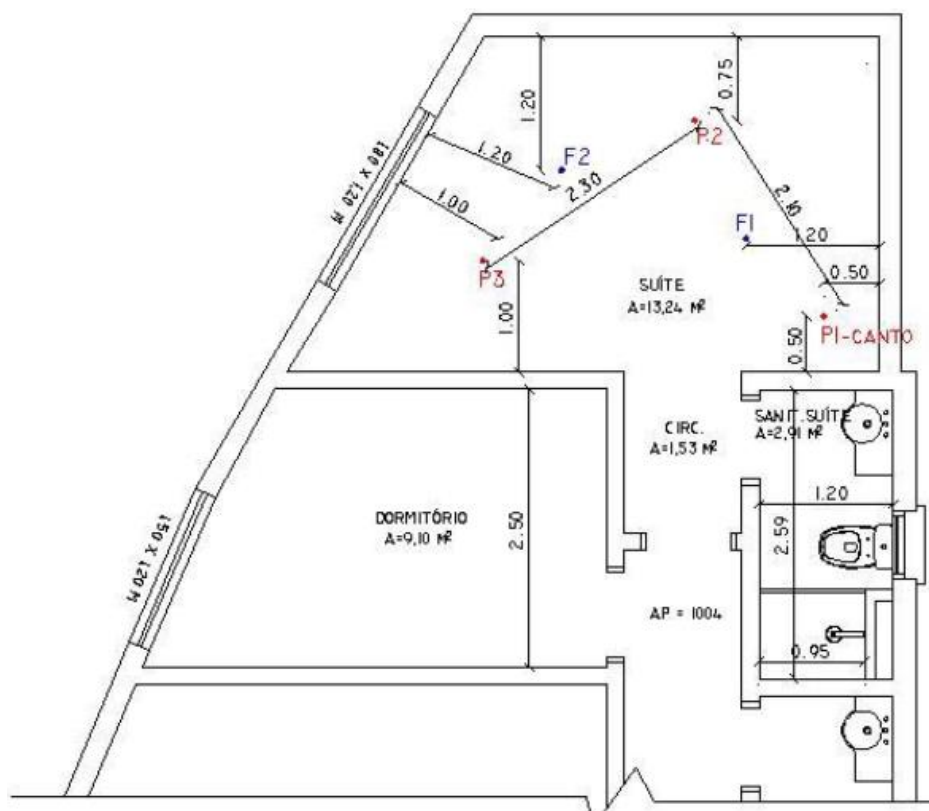
$L_{ASmáx.,nT}$ dB(A)	Nível de desempenho
$\leq 36$	S
$\leq 39$	I
$\leq 42$	M

Fonte: ABNT, 2013

Os métodos de ensaio para delimitar estes valores são encontrados na ISO 16032. Ela mostra quantos decibel cada elemento pode transmitir para os cômodos vizinhos, a forma de ensaiar, as condições de contorno, os equipamentos envolvidos, e todos os requisitos mínimos (ISO, 2004) para gerar um relatório suficiente para mensurar se uma unidade autônoma possui isolamento o suficiente afim de garantir ou não o conforto acústico esperado, como previamente explicado na justificativa. Note que estes valores são os mesmos encontrados em tubulações hidrossanitárias, ou seja, deve obedecer aos mesmos critérios elaborados para o sistema de instalações predial.

Segundo a ISO (2004) o método de engenharia realiza o ensaio de acordo com a Figura 19. Note que este ensaio foi realizado em uma mesma unidade autônoma. O ensaio da Pavanello (2014) foi feito dessa maneira, pois o objetivo dela era conhecer um procedimento de medição capaz de caracterizar o ruído gerado pelos aparelhos sanitários escolhidos. Foram realizadas 3 medições no ambiente, pois a ISO 16032 determina que o número de medições a serem realizadas por ponto depende da diferença entre os resultados obtidos no ponto de canto P1, referentes ao mesmo aparelho sanitário, após duas medições consecutivas (PAVANELLO, 2014).

Figura 19 - Esquema de posicionamento do equipamento no momento do ensaio



Fonte: PAVANELLO, 2014

Os equipamentos envolvidos no sistema hidrossanitário foi dividido neste trabalho em três subcapítulos, sendo eles os aparelhos sanitários, os dispositivos de controle de fluxo e as bombas.

### 3.2.1.1. Aparelhos sanitários

São todos aqueles que têm como objetivo fornecer água para fins higiênicos e receber dejetos de águas servidas (BORGES, 2008). Geralmente são fornecidos pelos fabricantes de cerâmica, vidro, aço inox, fibra de vidro, mármore entre outros diversos modelos encontrados no mercado (BORGES, 2008).

Dentre eles pode-se destacar: banheira, bidê, chuveiro, ducha manual, lavatório, mictório, pia de cozinha, tanque e vaso sanitário.

Quando acionados, o respingo da água sobre a pia, tanque, lavatório ou no piso do box do chuveiro, produz um ruído de impacto do fluido sobre as superfícies de contato com o equipamento (PAVANELLO, 2014). Os parâmetros predominantes nessa geração de ruído são (HOUNTE, 2013 apud PAVANELLO, 2014):

- Velocidade com que a água sai da bica do equipamento;
- A altura da bica em relação à superfície;
- O tamanho da gota que cai na superfície e;
- As características dinâmicas ou propriedade dos materiais da superfície de contato.

Na bibliografia, foram encontrados somente valores no acionamento da descarga do vaso sanitário. Neste caso, o ensaio realizado pelo Niemeyer (2009) relacionado na Figura 19, revelou valores de ruído entre 70 e 80 dB(A). Em relação ao permitido pela norma nos ambientes adjacentes, este valor está muito acima do permitido, sendo ele de 37 dB(A).

#### 3.2.1.2. Dispositivo de controle de fluxo

São os dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fornecimento de fluídos nas tubulações e aparelhos sanitários (BORGES 2008)

Eles podem ser confeccionados de diversas maneiras, tanto de ferro quanto de PVC, satisfazendo às especificações da Norma 15575 (ABNT, 2013). Os principais envolvidos no sistema de água são: misturadores, torneiras, torneiras de bóia, registros de gaveta, registros de globo ou pressão, válvulas de retenção, válvulas de alívio ou redutoras de pressão e válvulas de descarga (BORGES, 2008). A Figura 20 mostra um exemplo de um registro de gaveta instalado e em operação em um sistema hidráulico.

Figura 20 - Exemplo de Registro de Gaveta



FONTE: COELHO, 2013



### 3.2.1.3. Bombas

Geralmente utiliza-se bombas centrífugas em instalações prediais. Elas são dimensionadas para bombear a água nas edificações, acionadas por motores elétricos (SILVA, 1997). Para estimar a sua intensidade de som produzida, a Tabela 13 elaborada pelo Exército Americano mostra que esse fator está diretamente relacionado com a rotação e potência que ela exerce. Estes valores não estão convertidos em ponderação A de decibéis, o que seria necessário uma fórmula de adaptação que, para nosso estudo, não vem ao caso. O ensaio foi elaborado com o equipamento em funcionamento a uma distância de 1 metro da bomba (BISTAFA, 2006).

Tabela 13 - Método de Cálculo de valores de pressão sonora de bombas

Faixa de rotação (rpm)	Nível de Pressão Sonora Total (dB)	
	Potência de placa do motor de acionamento	
	Abaixo de 75kW	Acima de 75 kW
3.000 - 3.600	10 logkW + 72dB	3 logkW + 86dB
1.600 - 1.800	10 logkW + 75dB	3 logkW + 89dB
1.000 - 1.500	10 logkW + 70dB	3 logkW + 84dB
450 – 900	10 logkW + 68dB	3 logkW + 82dB

Fonte: BISTAFA, 2006 – adaptado

Figura 21 - Exemplo de Bomba Centrífuga



FONTE: INTECH MACHINE

A Figura 21 mostra um exemplo de bomba centrífuga. Esta bomba é da empresa Intech Machine, modelo BC1000. Segundo o catálogo opera com uma rotação de 3.450/minuto e possui uma potência de 0,75 kW, o que significa que, se colocado os valores de acordo com a Tabela 12 encontra-se uma fonte de ruído acima dos 72dB. Mesmo não fazendo a ponderação em A, os valores encontrados, independentemente da frequência, estão acima dos aceitos pela norma 15575.

### 3.2.2. Fenômenos envolvidos

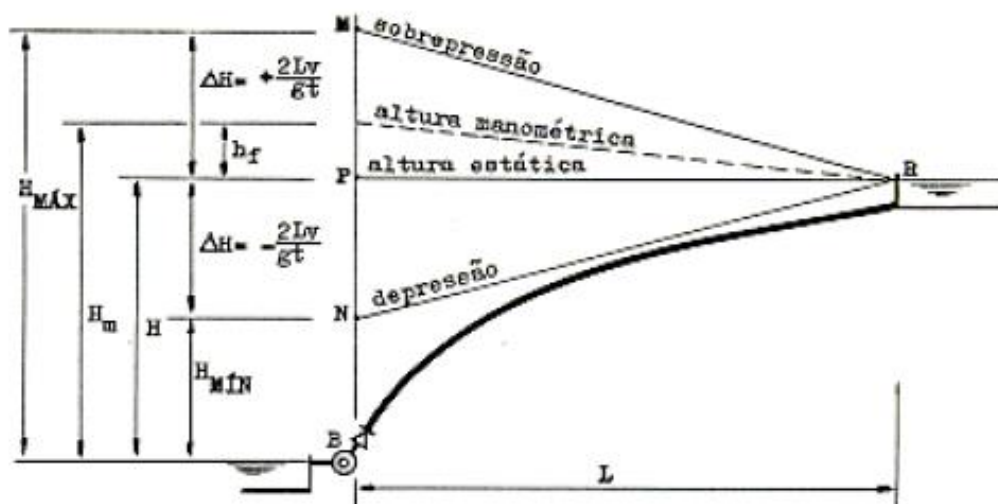
Este capítulo tem como finalidade organizar os fenômenos envolvidos nos sistemas hidráulico sanitários e explicar como que cada um deles ocorrem, e elencar os principais problemas que eles podem trazer para os usuários na questão acústica.

#### 3.2.2.1. Golpe de aríete

A abertura e o fechamento de válvulas é um dos principais causadores de mudança no fluxo de água, decorrente de tubulações de distribuição de água fria e água quente, que geram a mudança rápida da velocidade da mesma. As variações de pressão, resultantes de variações de vazão, causadas por alguma perturbação, voluntária ou não, que se estabelece no fluxo do fluido no interior de tubulações é denominada de Golpe de Ariete (CAMARGO, 1989).

Segundo CAMARGO 1989, o fechamento abrupto da válvula colocada na tubulação interrompe o movimento da camada líquida imediatamente à montante da válvula, transformando a energia cinética em energia potencial, que resulta no aumento de pressão. A sobrepressão e a depressão são as variações de pressão negativa e positiva na tubulação, e elas que ocasionam o golpe de aríete. O Gráfico da Figura 22 mostra uma representação simplificada de como que se comporta o golpe de aríete em bombas de reservatórios de forma lenta.

Figura 22 - Esquema de alturas e pressões manométricas em gráfico



Fonte: CAMARGO, 1989

Sendo as grandezas relacionadas:

$$H_{MAX} = H + \Delta H$$

$$H_{MIN} = H - \Delta H$$

$H$  = altura estática ou geométrica.

$h_f$  = perda de carga.

$H_m$  = altura manométrica.

$\Delta H$  = golpe de aríete.

$L$  = comprimento da tubulação.

$T = 2L / c =$  período da tubulação.

Os principais impactos que este fenômeno pode ocasionar é primeiramente o ruído intenso na tubulação, parecido com o barulho de uma marretada na tubulação gerando incomodo para os usuários. Em um nível mais intenso, pode causar fissuras e rompimentos da tubulação, ocasionando em vazamentos e troca do sistema, além do prejuízo de materiais e financeiro (TWYMAN, 2009).

### 3.2.2.2. Cavitação

A cavitação é o fenômeno que acontece quando há o aparecimento de bolhas no sistema de transporte de água (LIMA, 2015). Essas bolhas surgem devido a diferença de pressão e a água muda seu estado físico, indo de líquido para vapor.

Tal fenômeno ocorre quando um líquido passa por uma região de baixa pressão, à uma determinada temperatura, e pode assim atingir sua pressão de vapor.

Essas bolhas são arrastadas na tubulação e quando encontram regiões com maior pressão, acontece seu colapso devido à condensação (LIMA, 2015).

Segundo Ball e Tullis (1975 apud LIMA, 2015) A cavitação tem quatro níveis de condensação, desde o escoamento sem a percepção até o mais alto nível dela sendo elas:

1. Cavitação incipiente: início da cavitação, formação de bolhas ocasionais com ruídos leves e discretos, gerados por pequenas vibrações, sem interferir no funcionamento do sistema;
2. Cavitação Crítica: produção de ruído constante, durante o ciclo de uso;
3. Cavitação com perigo incipiente: geração de ruídos altos e vibrações relativamente intensas;
4. Cavitação plenamente estabelecida: ruído excessivo e vibrações.

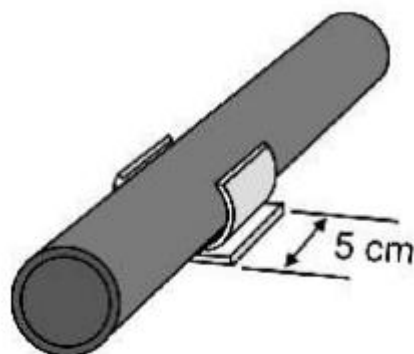
### **3.3. Suporte de equipamentos e tubulação**

Os tipos de suportes que envolvem geralmente o sistema de água e coleta de esgoto, tanto em tubulações quanto em equipamentos são as abraçadeiras. Além dos materiais empregados, são tratadas as distâncias segundo o manual da Tigre S/A (2017) e forma de instalação. Fatores que devem ser estudados na fase de projeto.

A norma NBR 5626 (ABNT,1998) diz que a fixação de tubulações de água fria e quente podem ser feitas através de abraçadeiras, anéis, grampos ou outras peças que permitam a necessária movimentação do sistema e facilitem a manutenção do mesmo. As fixações devem estar em bom estado e as abraçadeiras também.

Segundo o manual a Tigre S/A (2017), para tubulações de água aparentes as abraçadeiras devem ser lisas e largas, com um comprimento de contato de no mínimo 5 cm para tubulações de água fria e praticamente no perímetro transversal de todo o tubo, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Esquema da maneira correta da instalação de abraçadeiras



Fonte: TIGRE S/A, 2017

O manual da Tigre S/A (2017) ainda menciona a maneira correta de calcular a distância entre as abraçadeiras em tubulações hidrossanitárias em edificações. No caso de água fria o tipo de tubulação e o diâmetro externo (DE) são os fatores que irão interferir nas distâncias de fixação horizontal. A Tabela 14 relaciona tanto para tubos rosqueáveis quanto para tubos soldáveis. Na fixação na vertical deve-se colocar um suporte a cada 2 metros e nas variações de sentido da tubulação (curvas, tê...) deve-se colocar o mais próximo possível dos cantos (TIGRE S/A, 2017).

Tabela 14 - Espaçamento de abraçadeiras em relação à bitola do tubo

Bitolas DE (mm)	Tubos Soldáveis (m)	Bitolas DE (mm)	Tubos Roscáveis (m)
20	0,9	½"	1,0
25	1,0	¾"	1,1
32	1,1	1"	1,3
40	1,3	1 ¼"	1,5
50	1,5	1 ½"	1,6
60	1,7	2"	1,8
75	1,9	2 ½"	2,0
85	2,1	3"	2,1
110	2,5	4"	2,4
		5"	2,7
		6"	2,8

Fonte: TIGRE S/A, 2017 - adaptado

Para o sistema de água quente da Aquatherm, a TIGRE S/A (2017) recomenda utilizar a equação 03 para dimensionamento das faces em contato com os

tubos. Este valor não pode ser menor que 16,5 mm e deve-se sempre permitir a dilatação térmica natural do sistema.

$$L_{MIN} = 0,75XD \quad (3)$$

Onde:

$L_{MIN}$ : largura mínima da fixação (mm)

D: diâmetro da tubulação (mm)

Recomenda também que tenham dois tipos de fixação, os pontos fixos e os deslizantes, obedecendo a Tabela 16 como distâncias mínimas entre os fixadores e a Figura 24 onde deve-se colocar cada tipo de fixação. Os valores da distância, utilizando o material Aquatherm, são diretamente relacionados com o diâmetro nominal (DN) da tubulação e a temperatura máxima à qual se está submetida. Na vertical as distâncias devem obedecer 2m entre elas, como é elaborado em tubulações de água fria.

Tabela 15 - Espaçamento entre suportes - Horizontal

Espaçamento entre suportes - Horizontal (metros)				
Temperatura Máxima da Água				
DN	20°C	38°C	60°C	80°C
15 (½")	1,2	1,2	1,1	0,9
22 (¾")	1,5	1,4	1,2	0,9
28 (1")	1,7	1,5	1,4	0,9
35 (¼")	1,8	1,6	1,5	1,2
42 (1½")	2	1,8	1,7	1,2
54 (2")	2,3	2,1	2	1,2
73 (2½")	2,4	2,3	2	1,2
89 (3")	2,4	2,4	2,1	1,2
114 (4")	2,7	2,7	2,3	1,4

Fonte: TIGRE S/A (2017)

Figura 24 - Fixação de abraçadeiras fixas e deslizantes

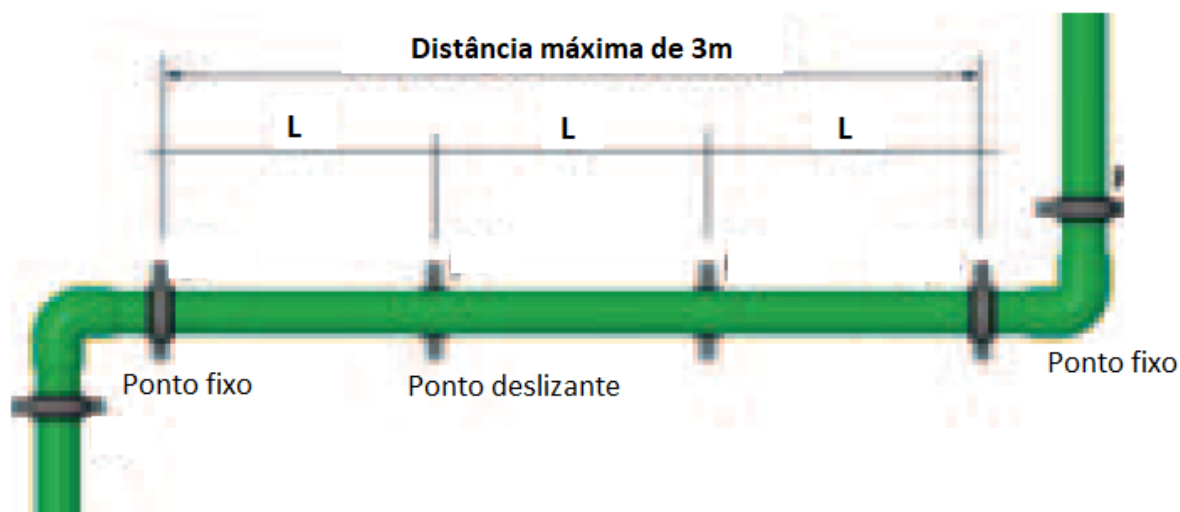


Fonte: TIGRE S/A (2017)

Caso o usuário realize a tubulação de água quente com o material de PPR (Polipropileno Copolímero Random), a fixação deste sistema é realizada de maneira diferente da apresentada na linha Aquatherm. Existem dois tipos de PPR, o PN 20 e o PN 25, sendo a classe de pressão 20 kgf/cm<sup>2</sup> e 25 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. As abraçadeiras devem ser metálicas, revestidas com material que impede seu contato direto com o tubo (TIGRE S/A, 2017).

Os pontos fixos devem estar posicionados em todas as mudanças de direção, impedindo que os esforços de dilatação térmica da tubulação sejam descarregados sobre as tubulações aparentes e a distância entre eles não pode ser maior que 3 m (TIGRE S/A, 2017). Os pontos deslizantes são suportes que permitem o deslocamento axial da tubulação devendo ser instalados de acordo com a Tabela 17 de distância máxima entre pontos. A Figura 25 relata o correto dimensionamento da colocação das abraçadeiras.

Figura 25 - Esquema hidráulico entre as braçadeiras ao longo da tubulação



Fonte: TIGRE S/A, 2017 - Adaptado

Tabela 16 - Distância máxima entre apoios - segundo Tigre S/A

Tipo de Tubo		DISTÂNCIA MÁXIMA ENTRE APOIOS EM CM PARA PN 20 E PN 25								
		Temperatura de Serviço °C								
		0° C	10° C	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C	80° C
PN 20	20	75	70	60	55	50	50	45	40	40
	25	85	80	70	65	60	55	50	50	40
	32	100	90	80	75	70	65	60	55	50
	40	120	100	100	90	80	75	70	65	60
	50	135	120	110	100	95	90	80	75	70
	63	160	140	130	120	110	100	95	85	80
	75	180	160	150	130	125	115	100	100	90
PN 25	20	80	70	60	60	50	50	45	40	40
	25	90	80	70	70	60	60	50	50	45
	32	100	90	90	80	70	70	60	60	50
	40	120	110	100	90	85	80	70	65	60
	50	140	130	120	100	100	90	80	80	70
	63	160	150	135	120	115	100	100	90	80
	75	180	170	150	140	130	120	110	100	90
90	200	190	170	160	150	130	125	115	100	

Fonte: TIGRE S/A, 2017

Para a instalação de esgoto na horizontal, utilizando tubo de PVC branco, a equação 4 deve ser realizada, de acordo com o especificado na Figura 26. A fixação vertical deve ser realizada do mesmo procedimento da fixação de água fria e quente, sendo 2m entre os fixadores (TIGRE S/A, 2017).



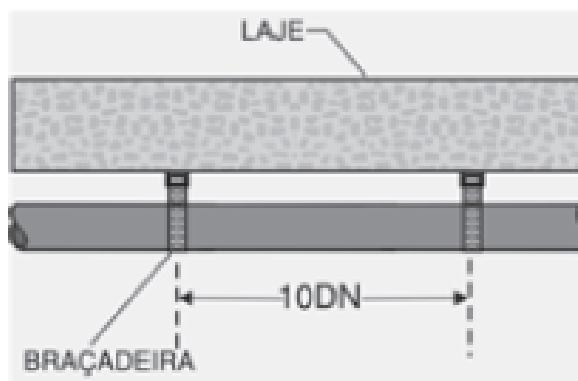
$$L = 10 \times DN \quad (4)$$

Onde:

L = distância entre espaçadores (mm)

DN = diâmetro nominal da tubulação (mm)

Figura 26 - Distância entre braçadeiras para tubulação de esgoto na horizontal

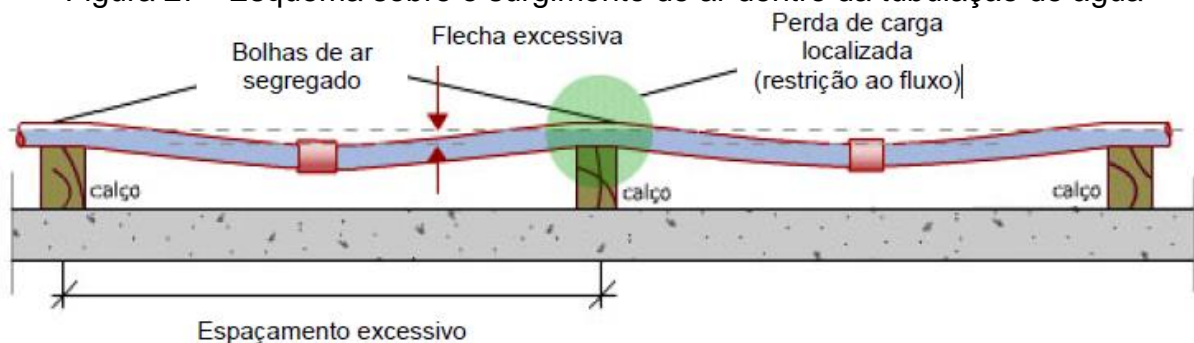


Fonte: TIGRE S/A, 2017

O correto dimensionamento entre os fixadores de tubulações deve ser sempre seguido. Cada material tem seu tipo e distância correta de instalação. Caso a fixação dos elementos do SPS não forem devidamente instaladas, pode ocorrer a segregação de ar dentro das partes de ondulações a que os lances da tubulação estão apoiados (GNIPPER, 2010). Este fato ocorre quando a distância entre eles se dá de forma excessiva, além do calculado.

A Figura 27 ilustra o fato relatando a flecha excessiva por conta das distâncias excessivas e perda de cargas localizada fixados, onde o tubo não sofre a flecha. Estas características fazem surgir na tubulação bolhas de ar, que podem gerar o fenômeno da Cavitação e assim a produção de ruídos.

Figura 27 - Esquema sobre o surgimento de ar dentro da tubulação de água



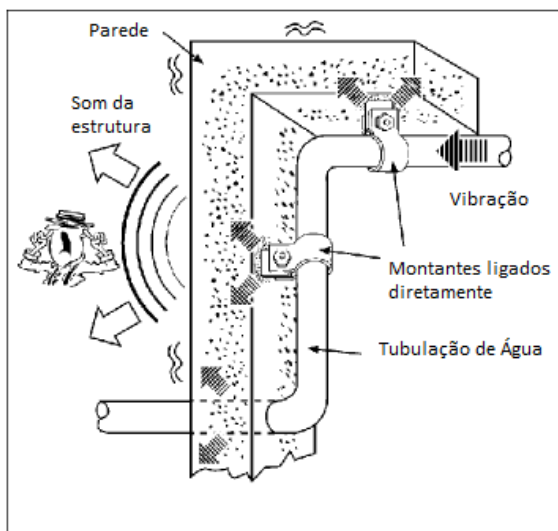
Fonte: GNIPPER, 2010

Contudo, mesmo fazendo a instalação das abraçadeiras com as distâncias entre elas corretas, as patologias podem surgir. Segundo o Departamento de Proteção Ambiental de Hongkong (Environment Protection Department, 2010) a vibração que vem da tubulação hidráulica devido ao fluxo de água pode transmitir para o interior da construção através destas braçadeiras.

A forma de fixação das tubulações embutidas em elementos estruturais ou de vedação também são uma possível fonte de geração de ruído.

O acionamento do sistema de água quente e fria fazem ao passar o fluido haja o surgimento de vibrações. Estas vibrações são repassadas para os fixadores de tubulações aparentes e embutidas, que através do ruído de vibração, podem incomodar os usuários. A Figura 28 relata os principais pontos de geração de ruído nestas circunstâncias.

Figura 28 - Esquema de transmissão de ruído da tubulação na estrutura



Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT 2005- ADAPTADO

Em resumo, analisando as questões referentes às patologias acústicas desta etapa deve-se analisar:

- Geração de bolhas devido à errada instalação das braçadeiras;
- Materiais fora do escopo da norma não garantem perfeita funcionalidade, portanto podem gerar ruídos;
- Transmissão de vibrações das braçadeiras para a estrutura do prédio.
- Transmissão de vibração em fixações embutidas em elementos estruturais ou de vedação.

## 4. AÇÕES DE PREVENÇÃO DE RUÍDOS

O Capítulo 3 estudou e analisou os principais elementos envolvidos no sistema, as principais fontes e os ruídos produzidos. Este capítulo tem como finalidade revelar quais são os mais comuns métodos de prevenção recomendados na literatura e suas consequências. Um método pode interferir em mais de um problema apontado, então ele será percorrido em duas partes, um sendo recomendações de projeto e outro para instalação. Assim foi possível relacionar cada ação com sua fonte e gerar um parecer final de quais métodos são mais convenientes realizar ou não.

### 4.1. Recomendações para projeto

Este subitem tratará especificamente dos elementos que podem ser adotados afim de sanar ou reduzir as interferências do SPHS na geração de ruído nas dependências do edifício. Para explicar de forma sucinta, cada método será ligado às patologias elencadas no tópico anterior.

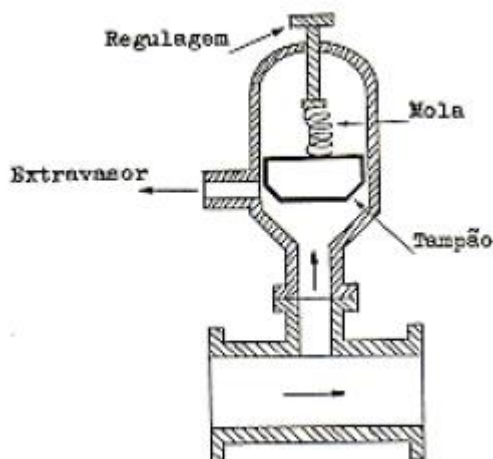
#### 4.1.1. Golpe de aríete

Para solucionar este problema em algumas vezes deve-se dimensionar a tubulação dentre as classes que suportam as depressões e sobrepressões desse processo. Porém não é indicado pois a variação constante dessas pressões pode levar à fadiga do material, e não é recomendado para sua boa conservação (CAMARGO, 1989).

Existem na literatura dispositivos para a mitigação do ruído gerado em sistemas hidrossanitários, sendo muito utilizado as válvulas de alívio.

As válvulas de alívio atuam nas tubulações contra as sobrepressões. Através de um mecanismo de regulagem, abrem-se quando a pressão excede a valores pré-fixados, permitindo a saída da quantidade de água deste ponto, até que se atinja a pressão desejada (CAMARGO, 1989). A Figura 29 é um esquema em corte de como que funciona uma válvula de alívio de pressão.

Figura 29 - Esquema de válvula de alívio de pressão na tubulação



Fonte: CAMARGO, 1989

#### 4.1.2. Criação de shafts e paredes hidráulicas

Segundo Pavanello (2014) os *shafts* e paredes hidráulicas são os elementos adotados para solucionar a passagem de tubulação embutidas nas paredes, principalmente em alvenaria estrutural. Elas são afastadas das paredes e formam um compartimento destinado para os tubos de queda e tubulações de água quente e fria.

Este método facilita a manutenção do SPHS e diminui a transmissão de vibrações para as estruturas do edifício, retirando assim todas as tubulações e rasgos nas paredes. Se o shaft não estiver totalmente conectado com a estrutura do edifício e permitir que a tubulação também não fique em contato com a parede, poderá auxiliar significadamente na perda de transmissão do ruído (HOUTEN, 2003 apud PAVANELLO, 2014).

#### 4.1.3. Isolamento acústico na passagem de lajes e vigas

A passagem pela laje, pelas paredes do *shafts* ou pelos vãos que eles são fixados nos *shafts*, mesmo fazendo o item anterior, ainda geram ruídos nas partes conectadas. Para resolver este problema, isolamentos em todas as conexões devem ser estipuladas em projeto, sendo uma específica para cada item abordado. As soluções abordadas neste item foram todas retiradas de ASPE, 2018.

A Figura 30 ilustra a solução ideal para as tubulações quando passam por estruturas como parede ou superfície similar.

Figura 30 - Isolamento de tubulações em contato com paredes

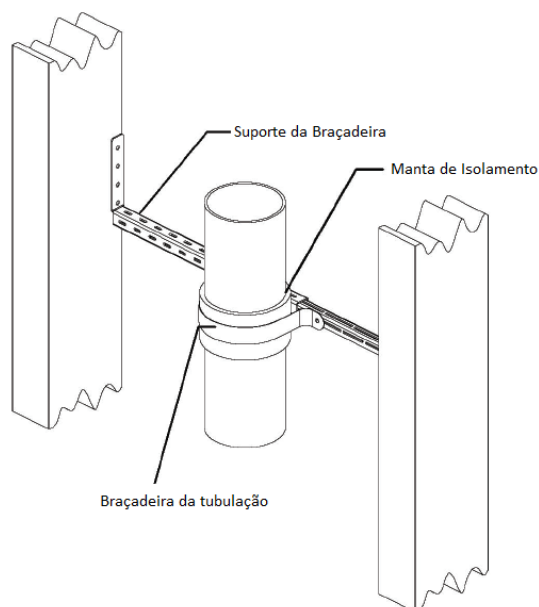


Fonte: ASPE, 2018 - Traduzido

Este caso mostra a passagem de esgoto pela parede da edificação. O rasgo, como o manual da TIGRE S/A menciona, deve ser um pouco maior do que o diâmetro externo do tubo, para que assim seja possível passar a tubulação sem que haja decréscimo de desempenho requerido. O espaço que fica disponível para a fixação deve-se colocar uma manta isolante (o material será abordado no final deste capítulo) afim de garantir que as vibrações não sejam retransmitidas na mesma intensidade que do modo convencional e gere alterações de pressões no ambiente, provocando ruídos (ASPE, 2018). É necessário que seja preenchido todo o vão livre entre a tubulação e a estrutura onde a tubulação passa, para que o ruído seja mitigado de forma eficaz (ASPE,2018).

Nos *shafts*, para se conseguir uma fixação ideal da tubulação e que ela transmita menos ruído para os suportes e assim menos ruído para a estrutura do prédio, deve-se adotar braçadeiras com isolamento também nelas, de acordo com a Figura 31.

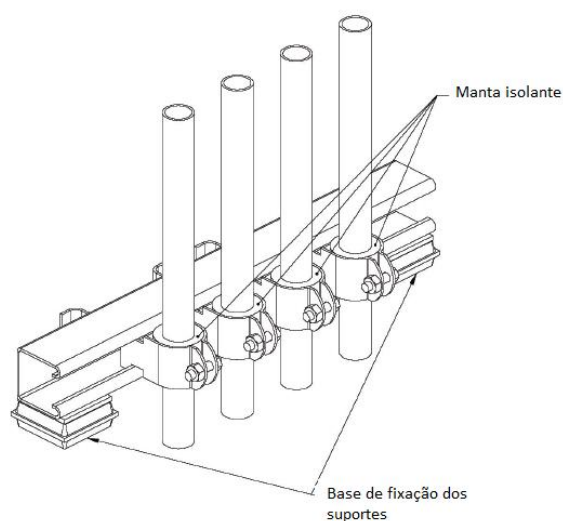
Figura 31 – Fixadores do sistema de braçadeiras



Fonte: ASPE, 2018 - traduzido

Nas passagens destinadas para as prumadas prediais, entende-se que há a passagem de mais de uma tubulação advinda de diversos apartamentos, sendo todas locadas no *shaft*. A Figura 32 mostra um tipo de suporte ideal para a fixação destas sem que haja um grande nível de transmissão de ruído.

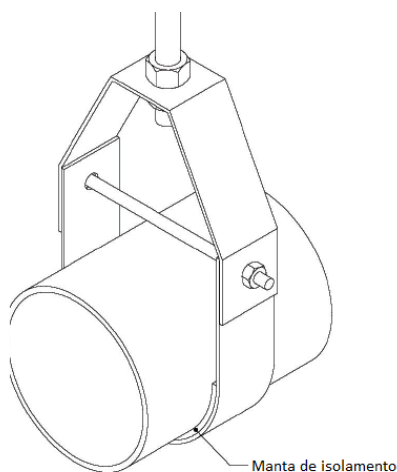
Figura 32 - Fixação de tubulação em shafts ou paredes hidráulicas



Fonte: ASPE, 2018 - traduzido

As abraçadeiras em si devem também ter uma manta de isolamento na superfície de contato com a tubulação. A Figura 33 é um esquema detalhado da ASPE (2017) e mostra o local exato que esta manta deve ser instalada, em tubulações cujo caminho ocorrem na horizontal.

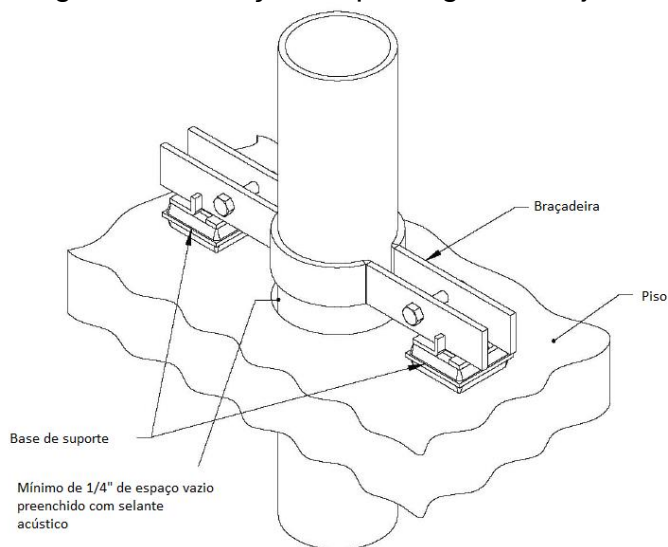
Figura 33 - Detalhe da abraçadeira acústica



Fonte: ASPE, 2018 - traduzido

O sistema de fixação para água fria é muito similar ao utilizado na rede de esgoto. Na passagem de piso, o ideal é colocar o sistema de acordo com a Figura 34, com um suporte metálico e bases de material de isolamento que mitiga as vibrações.

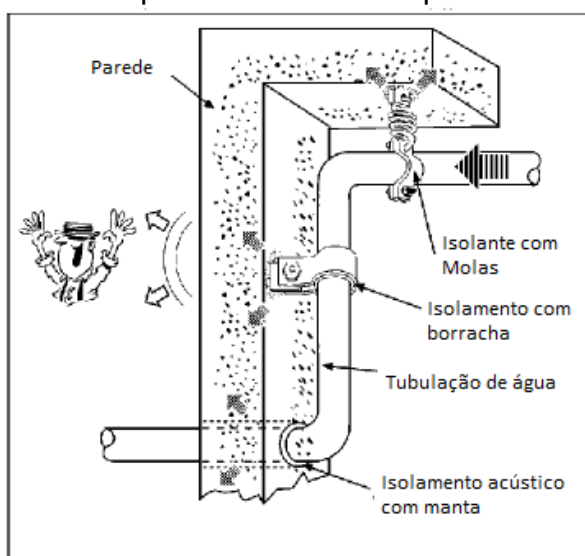
Figura 34 - Fixação na passagem de lajes



Fonte: ASPE, 2018

Foi demonstrado na Figura 28, problemas encontrados na passagem de tubulação e seus impactos na geração de ruído em instalações hidrossanitárias. Além das soluções relatadas pela ASPE (2017) para mitigar o problema relatado, o Departamento de Proteção Ambiental da HongKong dá um guia com diversas atitudes que controlam a propagação de ruído. A Figura 35 mostra que as abraçadeiras têm manta acústica no contato com a tubulação e molas para absorção de vibração, afim de mitigar a transmissão para a estrutura, além de que, nas passagens onde há o contato direto, também colocar uma manta de proteção.

Figura 35 - Esquema atenuado do problema anterior



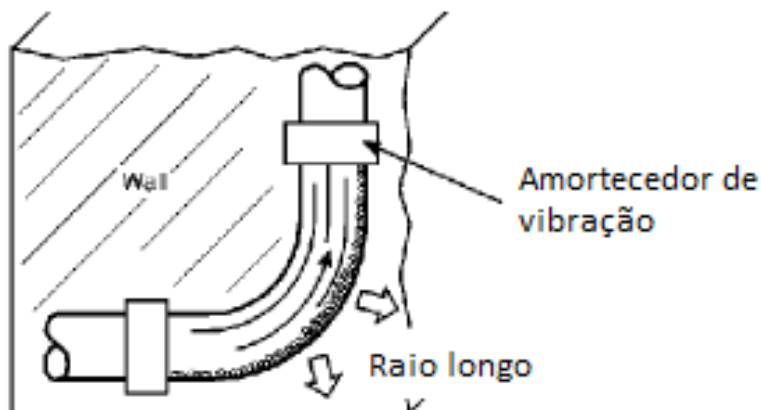
Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT 2005 –ADAPTADO

#### 4.1.4. Curvas de raio longo e amortecedores de vibração

A mudança abrupta de sentido de fluxo da tubulação gera uma mudança do tipo de escoamento da tubulação, tornando-o turbulento. Ao se colocar um raio longo o ruído gerado na tubulação é atenuado. Além de trocar o raio de curvatura da tubulação, deve-se colocar um amortecedor de vibração nas duas extremidades da tubulação, ficando um em cada sentido que o fluxo é direcionado. A Figura 36 ilustra como resolver o problema de curvas em tubulações hidrossanitárias.



Figura 36 - Substituição de curvas na tubulação



Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT 2005– ADAPTADO

#### 4.1.5. Local dos tubos de queda e água pluvial

Como mencionado anteriormente, a questão arquitetônica é fundamental para uma construção sustentável e que atenda às normas de construção civil. Neste aspecto, projetar as instalações onde as prumadas passem por paredes com menos exigência de ocupação ou por paredes externas é uma solução (LEAL, 2004 apud PAVANELLO, 2014). A Tabela 17 mostra que somente se considerando a distância já se consegue uma diminuição considerável do ruído gerado no ambiente.

Isso quer dizer que, mesmo sem fazer nenhuma proteção acústica na tubulação, o fato de deixar os ambientes distantes entre a fonte geradora e os ambientes com desempenho requerido é uma maneira eficaz de se evitar a percepção dos ruídos. A Tabela 17 diz que a cada metro a perda de ruído é significativa e gradativa a cada distância aumentada.

Tabela 17 - Redução de nível sonoro com a distância do emissor e receptor através da propagação pelo ar.

Distância (m)	Atenuação (dB(A))	Distância (m)	Atenuação (dB(A))
1	8	30 to 33	38
2	14	34 to 37	39
3	18	38 to 41	40
4	20	42 to 47	41
5	22	48 to 52	42
6	24	53 to 59	43
7	25	60 to 66	44
8	26	67 to 74	45
9	27	75 to 83	46
10	28	84 to 93	47
11	29	94 to 105	48
12	30	106 to 118	49
13	30	119 to 132	50
14	31	133 to 148	51
15 to 16	32	149 to 166	52
17 to 18	33	167 to 187	53
19 to 21	34	188 to 210	54
22 to 23	35	211 to 235	55
24 to 26	36	236 to 264	56
27 to 29	37	265 to 300	57

ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT 2005 - ADAPTADO

#### 4.1.6. Velocidade de escoamento de tubulações água fria/quente

A velocidade da água interfere diretamente no regime de escoamento no qual ele se encontra, na pressão e no ruído gerado pela tubulação. A norma NBR 5626, estipula que a velocidade máxima pode ser de 3m/s, contudo, dependendo da situação esse valor gera um regime turbulento, e assim pode causar ruídos na tubulação.

Para não ocorrer este tipo de problema, segundo Pimentel (2016) o ideal é dimensionar o sistema de água do edifício com velocidades variando de 0,5 a 2,0 m/s. Se possível afirma ainda que, para garantir que o escoamento do fluido não seja turbulento, adotar uma velocidade de 1,0 m/s. Já Pavanello (2014) afirma que calculando uma velocidade máxima de 2,5 m/s na tubulação, apesar do número de Reynolds atestar regime turbulento, o resultado é satisfatório.

#### 4.1.7. Trajeto das tubulações

Além dos *shafts* para a passagem de tubulação, para se conseguir atenuar os problemas devidos às vibrações das tubulações, as passagens devem ser

realizadas, sempre que possível fora da parede. O caminho ideal que se deve dimensionar é considerar por próximo a laje e protegidos com *sancas* ou forros de gesso, até chegarem às suas prumadas e tubos de queda, facilitando a manutenção e evitando os rasgos das paredes na hora de sua instalação. A Figura 37 é um exemplo de passagens de tubulação de esgoto fora da parede.

Figura 37 - Escoamento da tubulação fora da parede



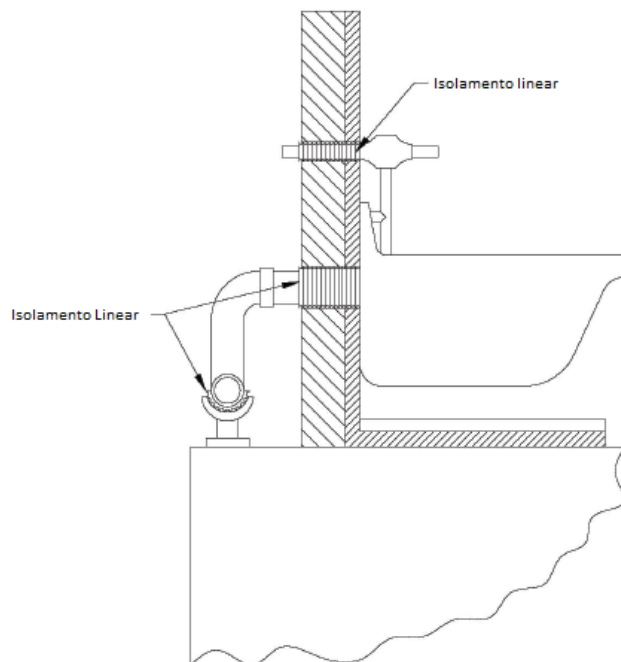
Fonte: PAVANELLO, 2015

#### 4.1.8. Local de instalação dos aparelhos sanitários e dispositivos de controle de fluxo

Os aparelhos e dispositivos ao serem acionados transmitem vibrações e geram ruídos, podendo ser estes incômodos para os usuários. Para se evitar que este passe dos limites adotados nas normas brasileiras, uma das possíveis medidas para contenção é a maneira que eles são instalados. Cada dispositivo deve ser instalado de forma que garanta uma diminuição considerada dos sons gerados por estes dispositivos. Em linhas gerais, ele deve ser colocado em um sistema de suporte

desconectado com a estrutura do edifício e/ou com isolamentos em todas as conexões e contatos com os demais sistemas em que haja o contato direto e indireto do aparelho. A Figura 38 abaixo mostra como deve-se instalar uma pia de fixação na parede, com o intuito de diminuir a propagação do som no habitat.

Figura 38 - Instalação correta da pia na parede



Fonte: ASPE, 2018

Segundo GEBERIT (2015), existe uma solução na instalação de aparelhos sanitários nas paredes adjacentes às estruturais. A Figura 39 é uma representação do sistema de um banheiro instalado totalmente fora da parede e desconectado do chão. A Figura 40 é uma foto deste sistema depois de instalado, Relata-se que é muito similar ao convencional.

Figura 39 - Ilustração da sustentação das soluções adotadas pela empresa GEBERIT



Fonte: GEBERIT, 2018

Figura 40 - Resultado acabado similar do apresentado na Figura 39



Fonte: GEBERIT, 2018

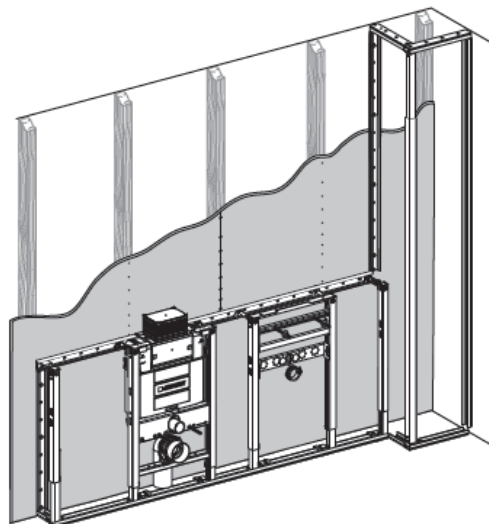
Ainda segundo a GEBERIT (2015) as paredes devem ser dimensionadas para conseguir suportar os pesos e demandas de cada serviço colocadas nelas e para isso, o ideal é consultar o projetista e as normas de parede para melhor esclarecimento. A Figura 41 mostra um esquema de instalação padrão do elemento de fixação DUO-FIX e como ele fica em relação à parede de vedação.

Para garantir o sistema esteja bem fixado, a empresa determina como mínimo (GEBERIT, 2015):

- 75 mm de espessura da estrutura da parede;
- Instalação no máximo à cada 4,0 metros;

- Se utilizar 50mm, deve-se colocar dois elementos faceados costa-costa;
- A estrutura deve ser a M10 da própria GEBERIT;
- Placas de vedação de no mínimo 18mm.

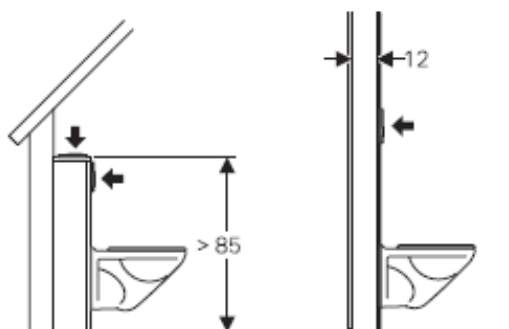
Figura 41 - Representação Gráfica do GEBERIT DUO-FIX



Fonte: GEBERIT, 2015

Em relação ao assentamento de vaso sanitário, a Figura 42 mostra as condições mínimas para que isso seja possível. A altura da parede mínima que pode ser é de 85 cm, pois assim ela garante o peso do sistema fique bem fixado na parede de suporte (GEBERIT, 2015). Afirma também que a espessura mínima da parede, nos lugares onde a altura do pé direito não é fator de influência, é de 12cm.

Figura 42 - Local ideal para o assentamento do vaso em diferentes maneiras de instalação



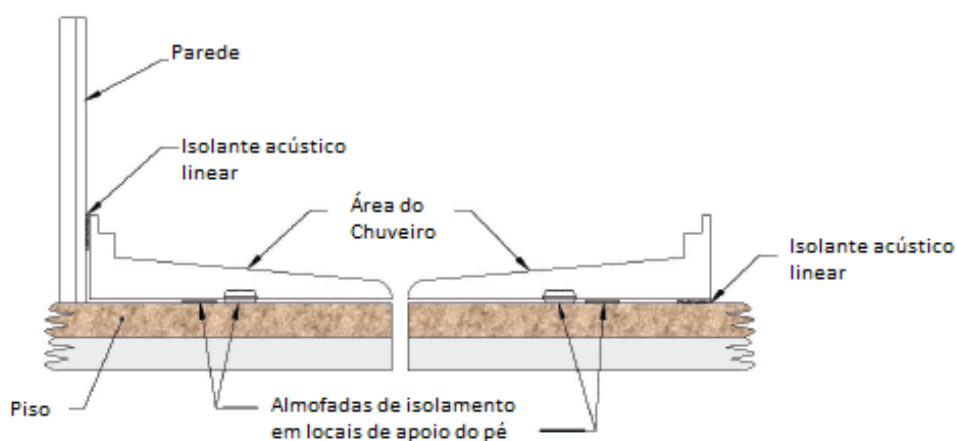
Fonte: GEBERIT, 2018

#### 4.1.9. Atenuação de ruído gerado pela queda de água do chuveiro

Este item tem como finalidade mostrar a maneira encontrada na literatura de amenizar o som gerado pela queda da água do chuveiro. O chuveiro em si não foi a origem do ruído, mas sim o impacto da água que ele produz no chão ao ser acionado.

No caso de o material do piso do chuveiro for pouco resistente no ruído gerado pelo da água, a maneira encontrada de tratar este problema foi a instalação de um piso atenuante de ruído colocando mantas isolantes tanto na lateral como na base da peça de assentamento, como mostra a Figura 43.

Figura 43 - Esquema de como atenuar o ruído gerado pelo chuveiro

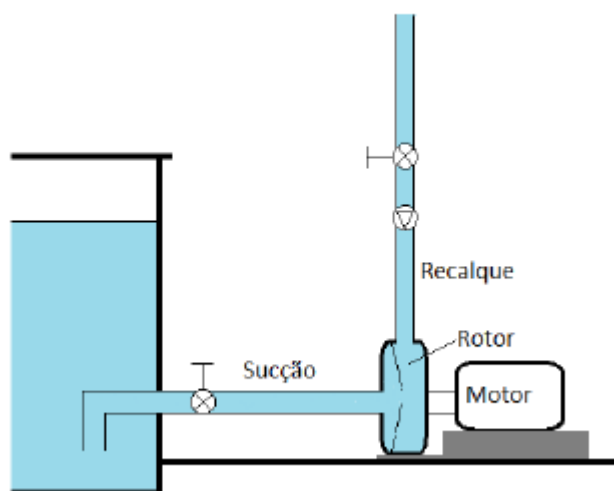


Fonte: ASPE, 2018 – Adaptado

#### 4.1.10. Local das Bombas e da Máquina de Lavar

O local das bombas é um fator que interfere na produção de possíveis bolhas no sistema, e por consequência a geração de bolhas de ar. Para evitar que esta patologia aconteça, Souza (2015) afirma que, o nível da água do reservatório deve estar acima do nível da bomba, evitando assim diferenças de pressão no sistema de sucção e recalque de água em sistemas hidráulicos. A Figura 44 representa a forma correta de colocação da bomba.

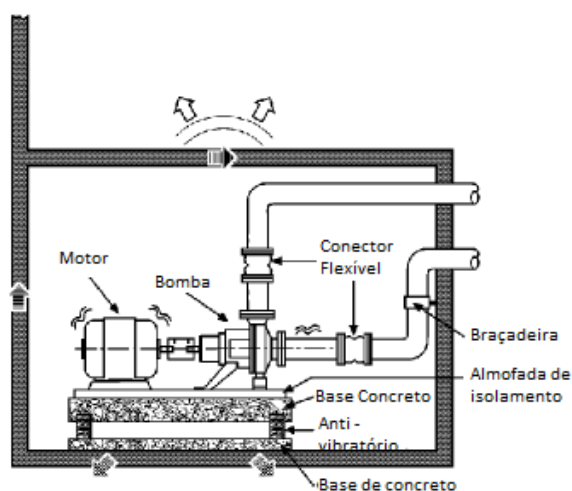
Figura 44 - Correto posicionamento da casa de bombas em relação ao reservatório de água



Fonte: SOARES, 2010

Em relação ao isolamento do som gerado por este item, deve-se realizar diversos mecanismos de ação para conseguir tratar somente o problema da casa de bombas. De acordo com a Figura 45, deve-se isolar o ambiente por paredes de concreto ou outro revestimento de vedação. Além disso, deve-se colocar a bomba sobre uma base com almofada acústica, concreto, e isolamento anti-vibração. As tubulações devem ser fixadas de acordo com o item 3.2.4 ou como deve-se acionar com braçadeiras antirruído.

Figura 45 - Solução para a atenuação de ruído gerado pelo emissor ao receptor

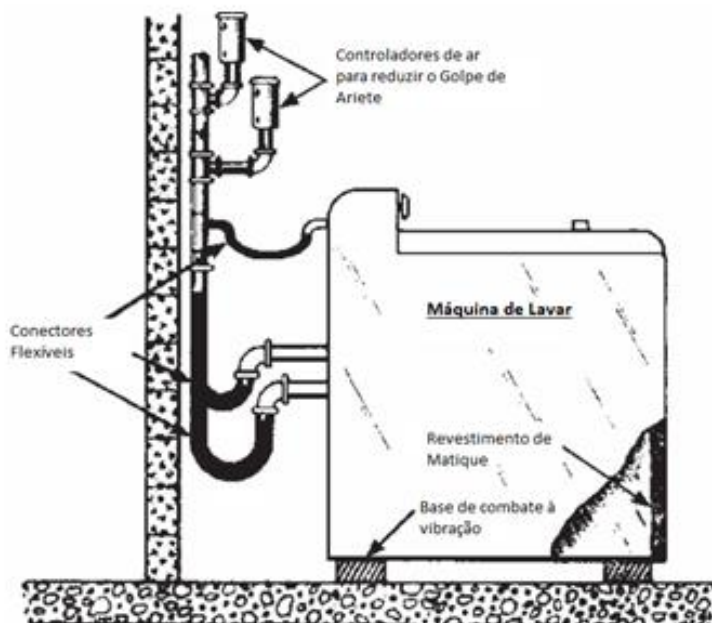


Fonte: ENVIROMENT PROTECTION DEPARTMENT 2005– ADAPTADO



Outro disposto que gera a vibração da tubulação por possuir um motor é a máquina de lavar. Ela por si gera um som entre 50 e 75 dB(A) e é recomendável também, segundo o ASPE (2018), que um tratamento acústico seja realizado. A Figura 46 ilustra diversas tomadas de decisão que atenuam a geração de ruído nas máquinas de lavar. É colocado no sistema controladores de ar, que controlam a geração do golpe de aríete; coloca-se conectores flexíveis pois a vibração da máquina não repassa para o sistema hidráulico; instala-se uma base para evitar a transmissão de movimentação para a laje e, por fim, revestimento de masquite, que impede a propagação de ruído pelo ar pela ativação do equipamento.

Figura 46 - Atenuações de vibrações e ruídos aéreos na máquina de lavar



Fonte: ASPE 2018 – Adaptado

#### 4.1.11. Envolvimento de tubulações

Ramos (2016) afirma que existem diversos tipos de materiais para isolamento acústico das tubulações para instalações hidrossanitárias, mas a instrução sobre a utilização dos mesmos não cita que critérios devem ser aplicados, nem a eficiência e o desempenho esperados. Afirma também que não se encontram procedimentos adequados para o envolvimento das instalações hidrossanitárias com o intuito de atender a norma 15575 (ABNT, 2013).

O envelopamento de tubulações é uma solução utilizada no mercado brasileiro para a mitigação dos ruídos provenientes de tubulações hidrossanitárias. Segundo a AUBICON (2018), para garantir que o ruído gerado pelo sistema não seja repassado para o usuário, as tubulações devem ser envolvidas pelo material, transpassando e fixando-as nos tubos com as abraçadeiras plásticas de forma que sobreponham as emendas e não tenham folga.

Ramos (2016) fez um estudo de atenuação de ruídos envolvendo os principais materiais encontrados no mercado. Ramos (2016) ensaiou a aplicação de todos estes revestimentos em tubulações de PVC normais, de acordo com a ISO 16032, em um edifício de alto padrão para encontrar os ruídos deles provocados entre as unidades edilícias autônomas. Os materiais de 1 à 7 foram os ensaiados neste experimento, sendo eles:

- Material 1: Manta de Feltro aerado termoacústica com espessura de 10mm, composta de 85% de fibras têxteis de Pet reciclado e 15% de fibras têxteis de copoliéster, produto 100% reciclável;
- Material 2: Manta isolante de borracha, composta de EPDM e grânulos de pneus de reciclados com borracha SBR (Borracha de butadieno estireno);
- Material 3: Acabamento de ralo sifonado com espessura de 12mm composto de mistura de EPDM e grânulos de pneus de reciclados com borracha SBR (Borracha de butadieno estireno);
- Material 4: Manta asfáltica estruturada em não tecido de fibra de vidro produzida com asfalto especial com espessura de 3mm acoplada ao geotêxtil de alta gramatura, com densidade de 800kg/m<sup>3</sup>.
- Material 5: tubo bipartido de lâ de rocha de alta intensidade, aglomerados com resinas especiais, com espessura de 50mm e densidade de 12 a 150kg/m<sup>3</sup>.
- Material 6: lençol de borracha natural de 6,4mm, com dureza da borracha em 70+/- ShoreA.
- Material 7: Abraçadeira Q-tie de nylon com comprimento de 210mm e largura de 4,7mm referência Q50R.

A seguir, as Figuras 59 a 64 ilustram de todos os materiais envolvidos neste estudo realizado por Ramos (2016).

Figura 47 - Manta de Feltro Aerado (material 01)



Fonte: Ramos 2016

Figura 48 - Manta acústica de EPDM e Pneu reciclado (material 2)



Fonte: AUBICON, 2018

Este tipo de manta é fabricada com mix de borracha virgem EPDM e grânulos de pneus reciclados. Ele atenua ruídos aéreos e vibrações advindas provenientes da passagem de água advinda das tubulações. Têm ótima elasticidade, resistência ao calor e envelhecimento. Tem diversas densidades que garante diferentes níveis de diminuição de ruídos gerados (AUBICON, 2018).

Esta manta é vendida com espessura de 2,6mm e densidade de 1.250kg/m<sup>3</sup> em bobinas de 20 metros de comprimento por 0,3 e 0,4m de largura. Existe também um dispositivo para colocar especialmente em ralos sifonados. Por ser difícil de cortar a manta, fabricou-se os abafadores para esta etapa do sistema (AUBICON, 2018).

Figura 49 - Proteção acústica de ralos sifonados (material 3)



Fonte: AUBICON, 2018

Ela garante que, se for instalada da maneira correta, garante os níveis de ruídos gerados são significadamente atenuados (AUBICON, 2018).

Figura 50 - Manta asfáltica não estruturada de fibra de vidro (material 4)



Fonte: Viapol 2016 apud Ramos 2016.

Figura 51 - Tubo bipartido de lã de rocha (material 5)



Fonte: Ramos 2016

Figura 52 - Lençol de Borracha natural (material 6)



Fonte: Ramos 2016

Ramos (2016) ensaiou estes isolantes nas tubulações de esgoto, considerando os shafts de isolamento ainda abertos e os forros de dry-wall sem a sua instalação. Isso quer dizer que os valores encontrados tiveram influência dos sistemas envolvidos no ensaio de forma direta mas incompletos, podendo assim acrescentar isolamento acústico quando ele estiver completo. Mesmo assim, é possível encontrar os valores somente das mantas acústicas, e seus resultados são mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Atenuação de ruídos aplicando os isolamentos de 1 à 6 - Ensaio realizado por Ramos (2016)

Materiais	Resultados sem revestimento (dB(A))		Resultados com revestimento (dB(A))		Atenuação do ruído (dB(A))	
	$L_{Aeq,nT}$	$L_{ASmax,T}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{ASmax,T}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{ASmax,T}$
1+2	49	51	39	42	10	9
1+2	46	49	39	42	7	7
1+2+3	45	47	37	38	8	9
5 e 6	55	59	43	47	12	12
4	55	59	48	52	7	7

Fonte: Ramos 2016 – Adaptado

Esta tabela mostra que mesmo com a aplicação dos isolamentos, existiram casos em que o resultado não foi suficiente para atender a norma 15575 (ABNT, 2013). Contudo, como dito no parágrafo anterior, as condições de ensaio demonstraram que faltava ainda a instalação de elementos de vedação, o que auxilia e atenua os ruídos gerados pelas tubulações hidrossanitárias (RAMOS, 2016), permitindo assim, que ainda seja possível que o teste alcance o desempenho esperado.

Para análise dos materiais, notou-se que a combinação entre eles é que gera os resultados de diminuição de ruído, variando de 7 a 12 db(A) tanto para pressão sonora contínua equivalente ( $L_{Aeq,nT}$ ) como para pressão sonora máxima ( $L_{ASmax,T}$ ). Ramos (2016) afirma ainda que a execução foi feita da maneira correta, fator que poderia interferir nos resultados obtidos.

## 4.2. Substituição de sistemas convencionais

Além do sistema convencional de materiais empregados na construção de sistemas hidrossanitários, existem outras tecnologias no mercado brasileiro que vêm como solucionadores de patologias, sendo elas, as geradoras de ruído. Elencouse uma para sistema hidráulico, uma para sistema de esgoto.

### 4.2.1. PEX

O Pex é um produto monocamada com o intuito de atender a hidráulica predial de água fria e quente. Ele é composto de Polietileno Reticulado, deixando de ser um material termoplástico, usualmente utilizado em tubulações hidráulicas, e se torna um material termofixo. Ele atende a uma vida útil de 50 anos e serve para a distribuição de água nas temperaturas entre 20 e 70°C (AMANCO BRASIL LTDA, 2015).

Figura 53 - Esquema da tubulação PEX



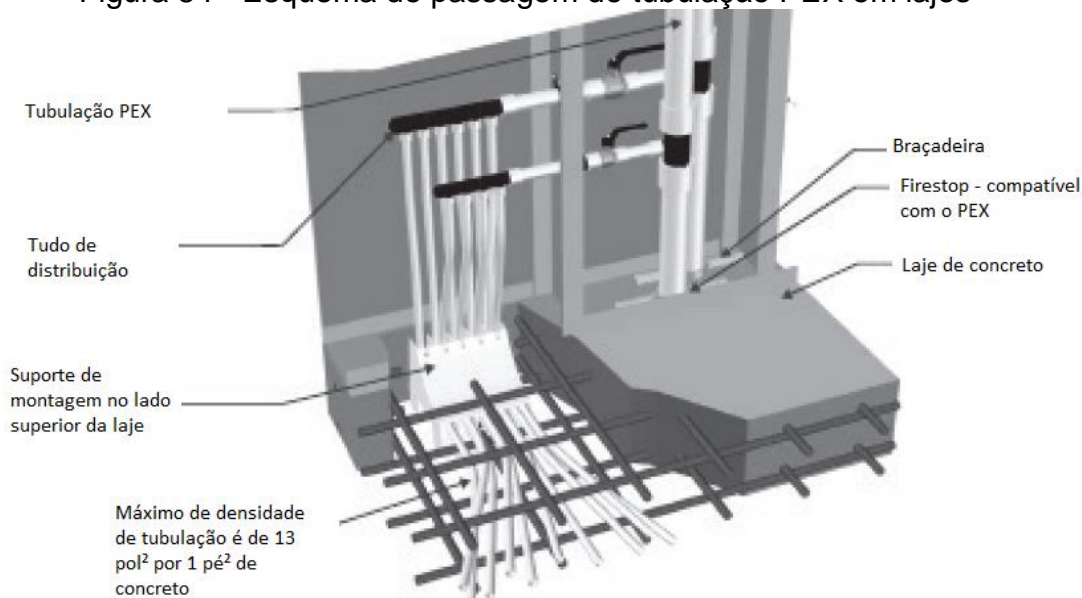
Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2015.

Suas principais características são: Alta maleabilidade comparada com o sistema convencional; alta resistência química e à corrosão; Compatibilidade com drywall, alvenaria cerâmica e estrutural.

Segundo o ASPE (2018), ele está sendo cada vez mais utilizado nos Estados Unidos, pois esta tubulação, por apresentar diâmetros pequenos, pode ser

instalada dentro da laje estrutural, respeitando um limite de tubulações por m<sup>2</sup>. A Figura 48 mostra como que este sistema é realizado. Colocando a tubulação dentro da laje, isso faz com que os ruídos devido ao fluxo da água diminuam.

Figura 54 - Esquema de passagem de tubulação PEX em lajes



Fonte: ASPE, 2018

É possível também fazer uma interface de comunicação dele com outros sistemas incorporados no edifício. Com a instalação de um módulo distribuidor, é possível fazer a ligação de uma tubulação de PVC ou PPR e ligar em diversos lugares ou aparelhos sanitários, como é ilustrado na Figura 49.

Figura 55 - Cabo de adaptação do PEX com tubulações convencionais



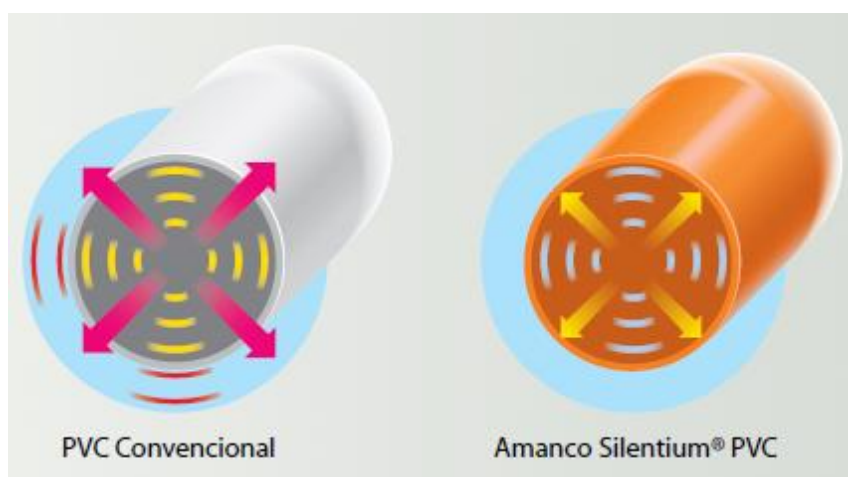
Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2015.



#### 4.2.2. PVC mineralizado

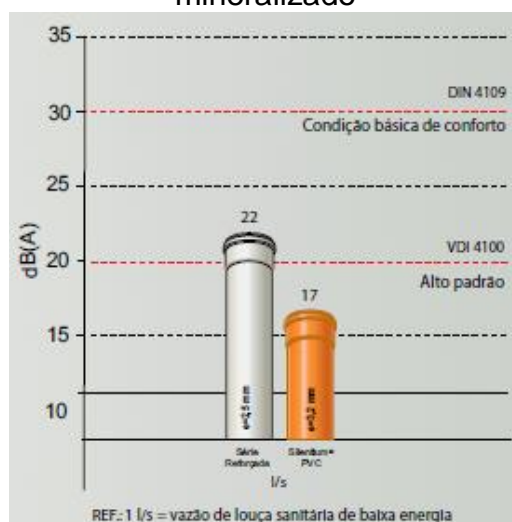
Foi lançado no mercado este produto que tem como objetivo atenuar os ruídos advindos das tubulações de instalações prediais de esgoto e água pluvial. Ele é composto de PVC mineralizado, de cor laranja. Esse material tem uma espessura maior se comparado com o PVC branco pois, na sua composição foi agregado um aditivo de alto peso molecular, que aumenta a densidade da matéria prima. Assim é possível melhores isolamentos acústicos de ruídos causados pelo fluxo do fluido através da tubulação (AMANCO BRASIL LTDA, 2010). A Figura 50 mostra o comparativo entre as densidades e o efeito do ruído dentro da tubulação, averiguando que a espessura um fator fundamental na atenuação e o Gráfico 51 um comparativo em relação aos valores apresentados de propagação de ruído nos sistemas.

Figura 56 - Comparação de propagação de ruído dentro da tubulação



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

Figura 57 - Esquema gráfico comparativo entre os tubos de esgoto convencional e mineralizado



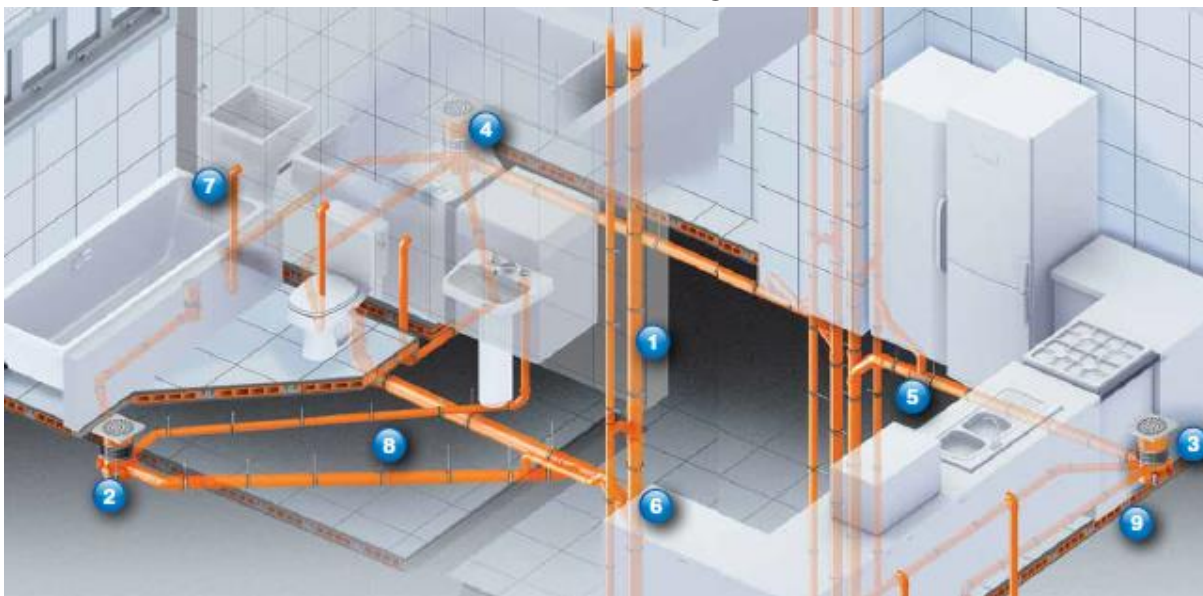
Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010.

O Gráfico apresentado na Figura 51 foi feito através do ensaio alemão DN 4109 para obter os resultados somente da tubulação, em laboratório, dos ruídos percebidos em cada um dos materiais (AMANCO, 2010). Neste caso, a tubulação de PVC branco deu o resultado sonoro de emissão de ruído, no momento de sua utilização, de 22 dB(A), enquanto o PVC mineralizado repassa um ruído de 17 dB(A). O ensaio foi realizado com uma bacia sanitária de vazão 1,0 l/s, o que é considerada uma vazão de baixa energia. Os valores de PVC branco são considerados de médio padrão, enquanto os de PVC mineralizado de alto padrão.

Estes ensaios foram elaborados de acordo com a norma alemã, que tem valores diferentes dos encontrados na norma brasileira. Na DIN 4109, como encontra-se no gráfico, para ser alto padrão o ruído que o sistema pode produzir, para ser de alto padrão, é abaixo de 20 dB(A) (AMANCO, 2010). No Brasil, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), o valor tem que ser inferior à 30 dB(A). O mesmo ocorre quando se estipula o requisito mínimo de percepção de ruído em ambientes. No caso alemão, segundo a DIN 4109, o valor mínimo é de 30 dB(A), enquanto no Brasil é de 37 dB(A). Isso quer dizer que se atende à norma alemã, atende à norma brasileira.

O sistema de PVC mineralizado é composto por nove componentes que juntos formam o sistema Silentium Premium. A Figura 52 mostra o esquema do sistema instalado e suas propriedades.

Figura 58 - Representação dos caminhos e soluções do sistema PVC MINERALIZADO



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010 – ADAPTADO

Os nove itens abordados na Figura 52 são: tubo (1), caixa sifonada (2), Amortecedor (3), prolongador (4), tê (5), junção simples (6), joelho 45° (7), abraçadeira (8) e suporte para caixa sifonada (9) respectivamente.

O item 1 foi explicado na Figura 50. O item 2 é a caixa sifonada. Ela é diferenciada do convencional pois ela tem fatores antirruído, como o defletor acústico e borracha em todas as ligações entre os elementos. A Figura 53 mostra todos os elementos que compõe essa caixa sifonada e onde cada uma delas se encaixa.

O item 3 é o amortecedor e encontra-se também na figura 53. No meio existe também um suporte acústico, que evita a propagação de ruído quando o fluído passa pela caixa. Ele está com maior destaque na Figura 53.

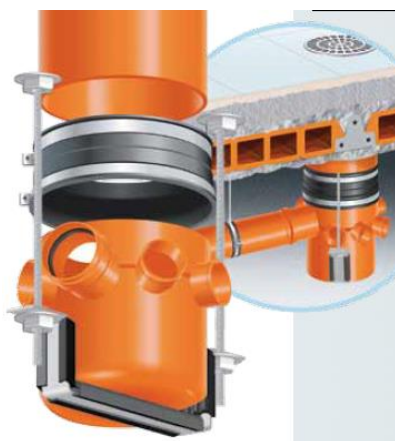
O item 4 é o prolongador, que também aparece nas duas Figuras 53 e 54. Ele é utilizado para fazer a passagem dentro da laje, ligando a grelha com o ralo sifonado (AMANCO, 2010).

Figura 59 - Detalhe da Caixa Sifonada



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

Figura 60 – Amortecedor



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

Os itens 5, 6 e 7 são componentes da tubulação de esgoto sanitária e fazem as ligações e mudanças de direção da tubulação. São representados respectivamente na Figura 55.

Figura 61 - Componentes da tubulação PVC mineralizada

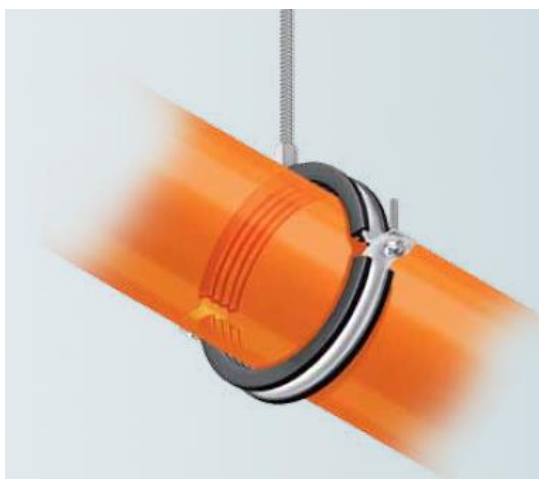


Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

Os tubos têm um diferencial nas suas conexões. Eles possuem junta elástica bilabial integrada (JEBI) com duplo lábio e alma de polipropileno, garantindo melhor estanqueidade e rapidez na instalação (AMANCO BRASIL LTDA, 2010).

O item 8 é a abraçadeira para sustentação desse suporte. Ela é especial para este tipo de tubulação, e é composta por metal e uma borracha de vedação. A Figura 56 é a representação deste item.

Figura 62 - Abraçadeira Acústica



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

O item 9 é o suporte da caixa sifonada, representada nas Figuras 53 e 54, no fundo da caixa. Ela tem o intuito de segurar o componente e evitar a propagação de ruído no ambiente (AMANCO, 2010)

Para a instalação do vaso sanitário, existe um amortecedor próprio para a atenuação do ruído. Este item tem como objetivo atenuar o impacto gerado pela descarga do dispositivo. Neste momento um grande volume de esgoto é liberado na tubulação, o que gera turbulência e alta chance de geração de ruído. A Figura 57 mostra o local que este item é colocado para realizar tal função.

Figura 63 - Conexão do sistema com a laje



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

Este sistema possui compatibilidade entre sistema convencional de PVC, pois seus diâmetros externos são idênticos (AMANCO BRASIL LTDA, 2010). A Figura 58 mostra como fica a ligação entre os dois materiais adotados no exemplo.

Figura 64 - Conexão do novo sistema com o convencional



Fonte: AMANCO BRASIL LTDA, 2010

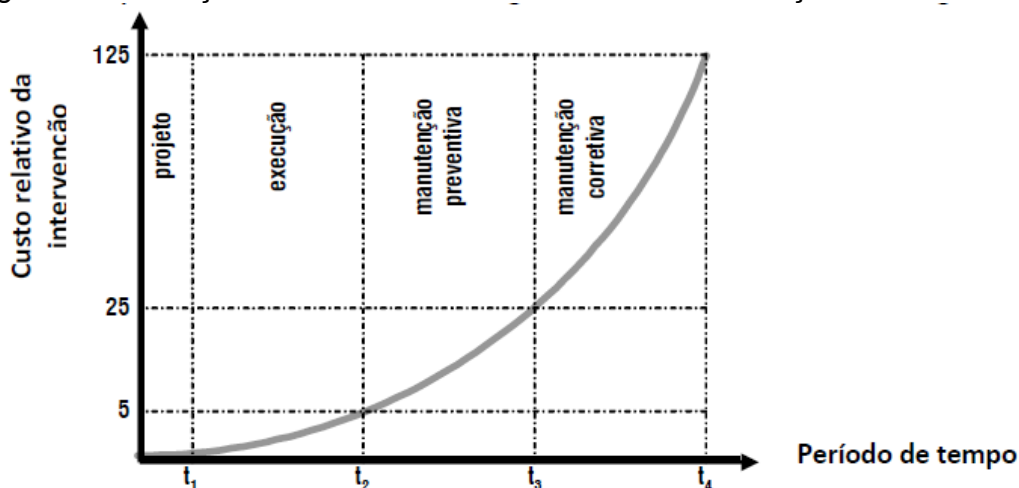
## 5. CAUSAS X SOLUÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas e analisadas as causas e patologias evidenciadas em sistemas hidrossanitários, elencadas no Capítulo 3, a fim de relacionar com as soluções encontradas no mercado brasileiro elencadas no Capítulo 4. Dedicou-se um capítulo especial para este assunto pois ele será o responsável por organizar as soluções e causas, com o intuito de apresentar, com análise na bibliografia, diretrizes e tomadas de decisão capazes de tratar e amenizar a geração de ruído em instalações hidráulica e sanitária, em edifícios residenciais de multipavimento.

Para se relacionar as tomadas de decisão, foi considerado que as normas relacionadas ao dimensionamento do sistema predial de hidráulica e saneamento neste trabalho foram obedecidas. Os materiais empregados também foram considerados os convencionais, sendo para tubulação hidráulica de água fria o PVC marrom, para água quente o PPR termofusão e para a tubulação de esgoto e pluvial o PVC branco, e todos dentro da norma de fabricação relacionadas a eles. A fixação foi com braceletes também convencionais de alumínio.

Uma análise visando o aspecto econômico, Gnipper (2010) afirma que todas as medidas visando à durabilidade, quando tomadas em nível de projeto, são sempre mais convenientes, seguras e baratas que medidas protetoras tomadas posteriormente. O Gráfico ilustrado na figura 55 relata exatamente o que foi constatado por Gnipper.

Figura 65 - Relação entre custo relativo e fase de intervenção



Fonte: SANTOS e BEBER, 2007 apud GNIPPER, 2010

Utilizando o conceito gerado no gráfico, separou-se as tomadas de decisão por duas etapas, sendo elas projeto e execução, sem realizar a troca total do sistema. O terceiro item dá um parecer sobre as tecnologias elencadas no trabalho e sua viabilidade perante às patologias acústicas elencadas, e se é conveniente realizar a troca do convencional por elas.

Então, na primeira etapa será elencada as tomadas de decisões relacionadas com toda a parte de projeto e organização antes da execução da obra, sendo elas as soluções e metodologias de prevenção dos ruídos.

A segunda etapa é quando o sistema não pode sofrer mudanças pois, ou não é possível, ou não é vantajoso a aplicação das medidas relacionadas, se analisado com outros sistemas individuais e/ou o projeto como um todo. Neste item, portanto, serão analisados efeitos remediadores de ruídos que serão existentes no projeto.

Por fim, a análise de novos sistemas encontrados da literatura será relacionada com as causas encontradas, como eles as afetam, os diferenciais e um parecer do autor se é viável ou não a substituição do sistema convencional pelo mencionado neste trabalho.

### **5.1. Projeto - Prevenção**

Esta parte consiste na elaboração do projeto. O primeiro item envolvido é a concepção arquitetônica com os demais elementos, pessoas e projetos do edifício. Geralmente este projeto é contratado na parte inicial do empreendimento de construção civil e assim, os projetos denominados complementares e os demais profissionais intervenientes não participam desta etapa (GNIPPER, 2010). A ausência de um processo ordenado e integrado de desenvolvimento de projetos contribui para o aparecimento de patologias em SPHS (GNIPPER, 2010).

A falta de espaço para a passagem de tubulações hidráulicas e sanitárias são recorrentes em projetos arquitetônicos elaborados da maneira convencional, sem realizar as etapas de acordo com o parágrafo anterior. Com isso é possível encontrar passagem de elementos do SPHS em locais que geram o contato direto com estruturas (vigas, lajes, paredes...) e próximo de locais onde o nível de desempenho acústico é requerido (quartos e salas). Podem ser erradicadas e tratadas



com a compatibilização de projetos e prévia análise de possíveis encontros de projetos complementares.

O local destinado para a passagem do mesmo gera incômodo aos usuários, dependendo da proximidade dos cômodos com maior desempenho acústico requerido. Assim, como analisado, quanto mais distante destes cômodos melhor, pois só este fato já é possível uma atenuação do ruído gerado, ressaltando que o ar é um elemento que diminui a intensidade da pressão sonora de acordo com a distância entre o receptor e gerador de ruído.

A localização do ambiente, portanto, também é algo que é recomendável um estudo prévio. Pelo mesmo motivo, deve-se deixar o mais afastado das possíveis fontes de ruído, como por exemplo cozinha e banheiros, e, principalmente, da casa de bombas.

Ainda sobre a passagem da tubulação, em um grande número de edificações, ela é embutida na parede. Como analisado no capítulo anterior, ela gera uma dificuldade para a manutenção do sistema e é uma grande fonte geradora de ruídos. Eles são transmitidos através da vibração dos outros componentes do empreendimento. Para se evitar este tipo de incômodo, as tubulações devem ser passadas fora da parede, através de *shafts* próprios para isso e fora dos componentes estruturais.

O dimensionamento da tubulação também, dependendo da maneira como foram dimensionadas, podem gerar patologias acústicas. A primeira causa encontrada foi o aumento abrupto de seção no decorrer da tubulação. Isso gera uma mudança de regime, passando na maioria dos casos para um regime turbulento, gerando assim, sons indesejáveis. Para se tratar especificamente deste problema o ideal é não ter isso no projeto, ou seja, calcular e verificar todos os pontos que isso ocorre e retirar do sistema, através da compatibilização e dimensionamento com especialistas da área.

A bomba de recalque em reservatório é outra fonte de patologias, evidenciada na fase de projeto. O mesmo fenômeno que ocorre nos cavaletes é evidenciado no momento de escolha errada da localização da bomba. Recomenda-se então que ela seja colocada abaixo do nível mínimo do reservatório e o mais afastado possível dos ambientes considerados com maior nível de atenuação acústica.

Outra patologia evidenciada neste trabalho foi a formação dos cavaletes. O caminho que a tubulação percorre, em locais com outros sistemas, no momento de

sua execução, ao gerar este, proporciona a formação do fenômeno da cavitação, gerando bolhas e ruídos indesejados. Para o tratamento deste problema, é recomendável, que o caminho que ele percorre não forme este tipo de geometria e não interfira no projeto arquitetônico. A compatibilização prévia detalhada gera a prevenção dos cavaletes hidráulicos.

Outro fenômeno que ocorre em tubulações hidráulicas é o golpe de aríete. Quando ele ocorre o ideal é colocar válvulas de alívio de pressão nos locais onde o registro em tubulações de grande pressão e vazão é acionado.

A fixação dos vasos sanitários também é uma fonte de patologias. No método convencional eles são conectados diretamente em elementos estruturais dos prédios e em paredes de vedação. Isso gera a propagação de ruídos através das vibrações e através do ar, quando eles são acionados. Para se evitar este tipo de problema, aconselha-se que dimensione a fixação em paredes específicas para estes aparelhos, como a empresa GEBERIT DUO FIX dispõe no mercado.

Para amenizar as patologias encontradas neste trabalho, as tomadas de decisão que foram levantadas até agora podem atenuar de forma significativa a quantidade de patologias. A Tabela 19 mostra um resumo de patologias e tomadas de decisão.

Tabela 19 - Origens Patológicas e Soluções de atenuação na fase de projeto

ORIGEM DAS PATOLOGIAS ACÚSTICAS		SOLUÇÕES NA FASE DE PROJETO
ITEM	CARACTERÍSTICA	CARACTERÍSTICA
1	Planta arquitetônica sem compatibilização e falta de detalhamentos	Mão de obra qualificada e método de gerenciamento detalhado.
2	Golpe de ariete	Válvulas de Alívio.
3	Aumento abrupto da seção do tubo	Colocar diâmetros do mesmo tamanho. Não ter aumento abrupto.
4	Alta pressão na Tubulação	Dimensionamento de acordo com a norma e válvulas de alívio.
5	Alta velocidade da tubulação	Diminuição da velocidade de escoamento da tubulação para 2,5 m/s no dimensionamento.
6	Falta de espaço específico para tubulação hidráulica	Compatibilidade, mão de obra especializada; Gerenciamento detalhado.
7	Local selecionado para tubos de queda e passagem tubulação	Afastado dos locais onde é requerido maior nível de desempenho acústico.
8	Caminho da tubulação gerando "cavaletes"	Não formar esta geometria e compatibilização dos outros projetos, evitando "cruzamento" de sistemas
9	Escolha dos ambientes geradores de ruído próximos aos dormitórios	Afastado dos locais de maior desempenho
10	Tubulação embutida na parede	Shafts, paredes hidráulicas, fora da estrutura e vedação. Isolamento com manta acústica ou borracha EPDM nas passagens de Parede, lajes e vigas.
11	Colocação das bombas de recalque - Cavitação	Colocação da bomba de recalque abaixo do nível reservatório
12	Fixação dos equipamentos nas paredes e estrutura	Criação de parede única para o assentamento de equipamentos
13	Local destinado para a Casa de Bombas e do Reservatório	Colocar o mais afastado possível dos receptores de ruído
14	Escolha dos suportes das tubulações	Colocar suportes de tubulação na forma adequada, sem gerar barrigas, e instalar com isolantes acústicos, de acordo com o capítulo de inovações tecnológicas
15	Curvas acentuadas de raio curto	Substituir por raios longos
17	Tubo de queda com variação de volume por tempo elevada	Colocar em shafts e o mais longe possível das fontes receptoras de ruído
18	Ruídos advindos dos Aparelhos sanitários e Dispositivos de controle de fluxo	Colocação em paredes fora das estruturas e vedações; Deixar o mais distante possível de dormitórios e salas.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Além destas específicas, existem, de acordo com a bibliografia, ações genéricas que atingem todos os pontos levantados até então, na forma de gerenciamento das atividades na concepção do empreendimento, na fase de execução do projeto. Segundo Amorim (1997), Martins, Hernandez e Amorim (2003) apud Gnipper, 2010 são elas:

- Definição do nível de desempenho desejado através da norma de desempenho;
- Um gerenciador experiente que administre reuniões periódicas, com registro em atas, das decisões e itens importantes na elaboração de soluções;
- Padronização e organização das soluções de projeto e meios de comunicação para acessá-los;
- Contratação de profissionais de projeto também para acompanhamento da fase de execução e para a elaboração do como construído;
- Notificação ao autor do projeto dos problemas encontrados na fase de execução, como um processo de realimentação para correção de falhas e melhoria profissional.

A integração de trabalhos multidisciplinares entre as fases de projeto e produção de edifício é algo que deve também estar no gerenciamento de atividades de execução, gerando um controle e condutas mais eficazes. É denominado por Melhado e Fabrício 2001 (apud GNIPPER, 2010) como “projeto simultâneo”, tendo tomado de empréstimo do setor industrial o que lá se convencionou chamar engenharia simultânea.

A elaboração de um projeto acústico é outra maneira de realizar o tratamento e mitigação de ruídos, não somente de tubulações hidrossanitárias, mas de todos os outros ambientes, podendo aumentar o desempenho em determinados ambientes onde ele é mais requisitado. Esta solução não foi colocada na tabela pois ela consegue amenizar todos os pontos, pois é feita a contratação de um especialista para a solução destes problemas.

Assim, a execução das atividades também se torna um fator para análise e tomadas de decisão que precisam ser evidenciadas para se atenuar a formação de problemas acústicos nas tubulações.

## 5.2. Execução - Remediação

Este tratará sobre remediações encontradas na bibliografia que atenuam ou erradicam as gerações de ruídos geradas por este sistema hidráulico sanitário. Se as ações do item anterior foram tomadas, ou não foi possível a sua ação, e mesmo assim não conseguiu atingir o desempenho esperado, as ações a seguir tornam-se recomendáveis, podendo ser somadas às que foram analisadas até o momento.

Apesar das remediações tomadas na execução do projeto, as curvas da tubulação se tornam possíveis geradoras de ruído. Considerando que a pressão da tubulação e velocidade estão de acordo com a norma, em locais de mudança de sentido da tubulação, utilizando raios curtos, podem gerar regimes turbulentos e isso pode ocasionar na propagação de ruídos. Para se evitar este tipo de elemento, recomenda-se que coloque raios longos e/ou evitem curvas no dimensionamento de tubulações.

Mesmo dimensionando a tubulação na forma orientada pela norma, é possível a geração de ruídos através do sistema operando em condições previstas de uso. A tubulação, pelo estudado nos capítulos anteriores, geram vibrações e, dependendo da forma como foram fixadas, transmitem isso para o sistema estrutural, gerando ruídos. Para se atenuar isso, primeiramente, deve-se controlar a velocidade e pressão da tubulação. Recomenda-se então que a velocidade seja de 2,5 m/s e o diâmetro da tubulação seja de um tamanho que, colocando na fórmula de Reynolds, não de um regime turbulento, como foi calculado no capítulo anterior. A pressão da tubulação, utilizando as fórmulas da norma e esta recomendação não podem ultrapassar, em nenhum ponto do percurso, as pressões mínimas estabelecidas. Nos pontos que isso ocorrer, colocar válvulas redutoras de pressão. Além disso deve-se escolher uma fixação que atenua a propagação da vibração em estruturas, que será elencada no próximo capítulo de forma mais detalhada.

A passagem da tubulação nas estruturas muitas vezes é algo inevitável, como no assentamento de tubulações dos aparelhos e dispositivos hidráulicos e sanitários. Recomenda-se neste caso, a aplicação do isolante acústico que será abordado no próximo capítulo em todas as passagens onde há a conexão da tubulação com estrutura, sendo uma para o sistema acústico de hidráulica e outra para o sanitário.

O acionamento de equipamentos gera ruídos, e não tem uma maneira de evitar isso utilizando os equipamentos levantados neste trabalho. Recomenda-se que sua fixação seja feita de acordo com as braçadeiras que serão elencadas no próximo capítulo e vedações de atenuação de ruídos no piso do chuveiro, local onde o impacto da água gera a maior quantidade de pressão sonora. A máquina de lavar em especial é um equipamento que gera um ruído muito alto e passa para a estrutura vibrações excessivas durante seu uso. Para se evitar isso, o ideal é colocar uma base anti-vibratória e colocar uma válvula de pressão, para se evitar o golpe de aríete.

Para se atenuar o som advindo da casa de bombas, o ideal é isolar o ambiente com paredes espessas de concreto, colocar os fixadores de acordo com a braçadeira do capítulo posterior, fazer uma base acústica de concreto com uma camada de manta acústica.

A passagem de tubulação, em todas as vertentes, principalmente nas conexões com os aparelhos sanitários, em diversas ocasiões, não tem como ela passar em paredes específicas ou passar por shafts e paredes hidráulicas. Nestes casos, a metodologia apresentada pelo CEU 2018 do item 3.2.1.3 deve ser adotada. Em todas as ligações ou passagem de tubulação que entra em contato com outras estruturas, coloca-se uma braçadeira e uma manta acústica na sua ligação. Isto faz com que o ruído transmitido da tubulação seja transmitido de forma mais amena, fazendo com que o desempenho requerido possa ser atingido. Recomenda-se então colocar mantas acústicas em todas as passagens de tubulação na estrutura. Para isso é necessário que o vão da passagem seja um pouco maior do que o diâmetro externo do tubo.

Em tubulações de esgoto e água pluvial, recomenda-se, colocar mantas acústicas no entorno de toda a tubulação. Isso faz com que a propagação de ruído seja atenuada.

A Tabela 20, resume em linhas gerais os tópicos levantados nesta questão.

Tabela 20 - Origens Patológicas e Soluções de atenuação na fase de Execução

ORIGEM DAS PATOLOGIAS ACÚSTICAS		SOLUÇÕES NA FASE DE EXECUÇÃO
ITEM	CARACTERÍSTICA	CARACTERÍSTICA
1	Planta arquitetônica sem compatibilização e falta de detalhamentos	-
2	Golpe de aríete	Instalação de novos aliviadores de pressão em locais que causem menos impacto visual.
3	Aumento abrupto da seção do tubo	-
4	Alta pressão na Tubulação	Redutores de pressão, válvulas de alívio
5	Alta velocidade da tubulação	-
6	Falta de espaço específico para tubulação hidráulica	Colocação de isolantes acústicos no entorno de toda a tubulação
7	Local selecionado para tubos de queda e passagem tubulação	Colocação de isolantes acústicos no entorno de toda a tubulação
8	Caminho da tubulação gerando "cavaletes"	-
9	Escolha dos ambientes geradores de ruído próximos aos dormitórios	-
10	Tubulação embutida na parede	Criação de shafts e/ou isolantes acústicos no entorno de toda a tubulação
11	Colocação das bombas de recalque – Cavitação	-
12	Fixação dos equipamentos nas paredes e estrutura	-
13	Local destinado para a Casa de Bombas e do Reservatório	Fechamento com paredes de concreto e mantas acústicas na base
14	Escolha dos suportes das tubulações	Colocar as que tem antirruído
15	Curvas acentuadas de raio curto	Trocar por de raio longo
17	Tubo de queda com variação de volume por tempo elevada	Colocação de isolantes acústicos no entorno de toda a tubulação
18	Ruídos advindos dos Aparelhos sanitários e Dispositivos de controle de fluxo	Colocação de isolantes acústicos nas vedações do ambiente dos equipamentos para se evitar que o ruído chegue com intensidade elevada nos ambientes com nível de desempenho maiores.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Essas ações fazem com que a produção de ruído seja atenuada, melhorando assim o nível de desempenho nas unidades próximas a esses elementos. Contudo, existem casos ainda que somente essas ações não são suficientes para

chegar ao desempenho requerido, ou, por questões arquitetônicas ou financeiras, acabam inviabilizando este processo.

Pensando-se nisso, o mercado gerou inovações tecnológicas para atenuação dos ruídos gerados afim de atender seus usuários. O próximo item, portanto, trará os materiais que se dizem satisfatórios para o controle de sons advindos das tubulações e que façam substituições ou acréscimo de atividades que buscam o resultado esperado de desempenho.

### **5.3. Materiais e outros métodos construtivos.**

Para finalizar a ideia de recomendações para o tratamento de patologias acústicas advindas de tubulações hidrossanitárias, estudou-se no mercado as inovações em questão de desempenho acústico, fazendo-se valer se neste requisito elas realmente são eficazes ou não.

O PEX, mostrou-se muito vantajoso na sua aplicação, conseguindo-se um manuseio melhor dos caminhos pelos quais este sistema percorre, sem o aparecimento de curvas acentuadas. Este sistema pode até passar dentro das lajes, pois sua transmissão de vibrações é baixa devido ao seu material diferente. A fixação deles deve ser com o bracelete com proteção anti-ruído, para garantir que as vibrações que advém deste sistema sejam amenizadas. Portanto, recomenda-se, na questão acústica, a aplicação deste procedimento no lugar do convencional.

O sistema PVC Mineralizado (ex: Amanco Silentium), estudado no Capítulo 5, é uma inovação que, segundo o manual, atende à norma de desempenho. Ele serve tanto para água fria quanto quente. Isso faz com que o sistema se torne uma maneira eficaz de atenuar ruídos e garantir um desempenho acústico esperado. Recomenda-se, então que seja feita a instalação do sistema no lugar do convencional.

A braçadeira que faz parte do sistema de PVC Mineralizado, composta de isolante acústico e de anti-vibração, é excelente no controle de propagação de ruídos, então define-se que esta deve ser utilizada no lugar da convencional, em todas as tubulações envolvidas na produção de edifícios.

O sistema de esgoto a vácuo veio ao mercado com o intuito de, principalmente, diminuir o consumo excessivo de água no acionamento da descarga de vasos sanitários. Este sistema faz com que o consumo seja 1,2 litros de água por descarga (EVAC, 2018). Contudo, como pode-se analisar, a quantidade de ruído



deste sistema é muito alta, por volta de 69dB, e para isso é necessário uma série de medidas controladoras de ruído. Portanto neste caso, o uso de sistema a vácuo é inviável.

Os materiais elencados no item 4.2.3, os relacionados de 1 a 7, todos são recomendados para o uso em tubulações que propagam ruído acima do estimado, atenuando determinado valor de acordo com a espessura da manta. Estes métodos são tecnologias remediadoras, que tem o intuito de atenuar o som de tubulações de esgoto e água pluvial que já estão em funcionamento, ou não foram pré-estabelecidas, deixando a construção fora do padrão de desempenho esperado. Portanto, deve-se utilizá-la quando não houver a possibilidade de troca do sistema por um de PVC Mineralizado, e quando as tomadas de decisão dos itens 4.1 e 4.2 não atenuarem o ruído à ponto de chegar no padrão esperado.

Para todas as escolhas acima referenciadas, vale ressaltar que para a tomada de decisão são necessários mais fatores na escolha de um método ou produto na linha de produção, como por exemplo a disponibilidade e custo dos materiais.

A Tabela 21 a seguir faz-se o resumo de patologias que os novos sistemas combatem.

Tabela 21 - Relação das Origens Patológicas e Materiais e Sistemas no combate à geração de ruído

ORIGEM DAS PATOLOGIAS ACÚSTICAS		SISTEMAS ATENUADORES DE RUÍDO
ITEM	CARACTERÍSTICA	CARACTERÍSTICA
1	Planta arquitetônica sem compatibilização e falta de detalhamentos	-
2	Golpe de ariete	-
3	Aumento abrupto da seção do tubo	PEX E PVC Mineralizado
4	Alta pressão na Tubulação	PEX E PVC Mineralizado
5	Alta velocidade da tubulação	PEX
6	Falta de espaço específico para tubulação hidráulica	PEX E PVC Mineralizado
7	Local selecionado para tubos de queda e passagem tubulação	PEX E PVC Mineralizado
8	Caminho da tubulação gerando "cavaletes"	PEX
9	Escolha dos ambientes geradores de ruído próximos aos dormitórios	-
10	Tubulação embutida na parede	-
11	Colocação das bombas de recalque - Cavitação	-
12	Fixação dos equipamentos nas paredes e estrutura	Estrutura de Alumínio (Ex: Geberit)
13	Local destinado para a Casa de Bombas e do Reservatório	-
14	Escolha dos suportes das tubulações	Abraçadeira Metálica com amortecedor de vibrações
15	Curvas acentuadas de raio curto	PEX
17	Tubo de queda com variação de volume por tempo elevada	PVC Mineralizado
18	Ruídos advindos dos Aparelhos sanitários e Dispositivos de controle de fluxo	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS

As construtoras, visando atender ao mercado brasileiro, tomaram diversas decisões que acarretaram na diminuição de custos na edificação, reduzindo a espessura das paredes e substituindo sistemas construtivos por mais econômicos, sem se preocupar com a questão da acústica das edificações. A norma relativa ao assunto existe desde 1987, contudo, não foi motivo de busca e preocupação das construtoras. Contudo, a partir da validação da Norma 15575 (ABNT, 2013) houve uma preocupação dos construtores em atender, também, a parte acústica das edificações, sendo parte delas relativas ao sistema hidrossanitário, para assim entregar um empreendimento com o desempenho requerido atingido. Devido à falta de preocupação, o tema em questão é algo pouco debatido e encontrado na bibliografia

Assim, este trabalho destacou a importância da investigação das causas e origens das fontes geradoras de ruídos em tubulações hidráulico e sanitárias em edificações residenciais de multipavimentos, com o intuito de prevenir que elas aconteçam em construções futuras. Para tanto, foi-se necessário um estudo nas fontes bibliográficas disponíveis, a contextualização dos temas encontrados para gerar uma visão sistêmica do assunto, a compatibilização com outros elementos e sistemas da edificação, para assim, elencar as principais origens dos problemas apontados na literatura.

Com este estudo foi possível disseminar as principais fontes de ruídos gerados em edificações residenciais. Basicamente foi separado em três principais vertentes: um na fase de projeto de instalações de condutos forçados, condutos livres, projeto arquitetônico e colocação dos aparelhos sanitários; segundo envolvendo os equipamentos e fenômenos; e por fim, os suportes utilizados para a fixação desse sistema.

Viu-se que a maioria das causas encontradas são geradoras de grande pressão sonora no ambiente. Encontrou-se 60dB(A) para esgoto convencional de PVC, bombas de recalque que atingem 70dB(A) e aproximação de cômodos geradores de ruído com cômodos com desempenho requerido alto, gerando até aproximadamente 60 dB(A). Viu-se até 90 dB(A) devido ao esgoto a vácuo. Estes valores são acima dos aceitos pela norma 15575 (ABNT,2013) e também chegam à valores que são nocivos à saúde humana e vão contra o estabelecido pela

Organização Mundial da Saúde. Então, mais uma vez, mostrou-se necessário uma tomada de decisão afim de mitigar a propagação de ruído

Relatou-se também que existem normas brasileiras relacionadas à propagação de ruído em edificações, fazendo-se enfatizar a Norma de Desempenho NBR15.575 (ABNT,2013) e a NB 10.152 (ABNT, 2017), que têm como objetivo trazer valores quantitativos para estabelecer critérios e requisitos necessários para se atingir o desempenho mínimo, intermediário e superior, ficando à cargo do construtor, qual deles atingir. Contudo, ela trata isso de forma direta para o edifício e indireta para cada equipamento ou componente envolvido nele, tornando assim o processo de obtenção de resultado por setor algo complexo para os construtores. Existem até casos, como aponta Pavanello (2014), com valores questionáveis, como o da velocidade nas tubulações hidráulicas. Na norma 5626 (ABNT,1998) a velocidade máxima permitida é de 3m/s, mas assim, as chances seriam maiores de geração de ruído nessas tubulações, a não ser que mudassem esse valor para 2,5m/s.

Outro fato que ocorre com a norma 15575 (ABNT,2013) é que o desempenho de ruídos para equipamentos prediais não é obrigatório para atingir o desempenho da edificação. Como relatou-se neste trabalho, existe um grande número de patologias acústicas advindas de sistemas hidrossanitários, que ao deixarem de ser ensaiados, podem acarretar ao cliente desconforto e, em casos mais graves, danos à saúde.

A norma também não abrange todas as edificações, tornando hospitais, prédios comerciais, obras concluídas até a data de sua validação e obras de reforma e retrofit fora destes padrões, o que deixa grande parte dos empreendimentos fora da fiscalização e obrigatoriedade de desempenho mínimo para os usuários.

Com isso, pesquisou-se na bibliografia quais são os métodos utilizados no mercado brasileiro afim de mitigar esses ruídos e assim, se possível, trazer conforto acústico aos usuários. Encontrou-se diversos produtos e concepções no dimensionamento do projeto. Todos eles foram elencados no Capítulo 4 e com eles, foi possível trazer uma diretriz de quais soluções existem no mercado no tratamento de ruídos advindos de sistemas hidrossanitários. Relacionou-se tanto soluções para tratamento de sistemas convencionais como a sua troca por novas tecnologias. Viu-se que, sem analisar a questão de custo, disponibilidade na região, mão de obra qualificada para a sua instalação, que eles trazem ao construtor um ganho de

desempenho. A aplicação de mantas ao redor da tubulação também mostrou-se vantajosa, trazendo um ganho de atenuação de ruído na ordem de 12dB(A).

Por fim, foi possível relacionar as causas com as soluções encontradas. Constatou-se que as tomadas de decisões realizadas na fase de projeto são mais benéficas do que as tomadas no momento de execução e manutenção, tanto na parte de tempo como na parte financeira. A Tabela 19 relaciona as soluções encontradas na literatura que trazem benefício aos envolvidos no processo, elencando cada tomada de decisão na patologia encontrada. Caso não fosse possível realizar as sugestões da Tabela 19, pode-se utilizar a da Tabela 20, que elenca na fase de execução, onde o campo de atuação é menor. Se nenhuma das duas solucionar, o ideal é fazer a troca desse sistema, e utilizando a Tabela 21, tem-se a noção de como agir em determinada patologia.

Com essas tabelas, explicações e organização de informações encontradas na bibliografia, foi possível formalizar diretrizes e condutas no tratamento de ruídos advindos de tubulações hidrossanitárias, ficando sugestões para próximos trabalhos, e assim agregar informações a esta monografia.

Espera-se que este trabalho tenha contribuído com recursos para o desenvolvimento de um conjunto de requisitos necessários para uma escolha eficaz das tecnologias e/ou recomendações de projetos, para assim minimizar os ruídos oriundos das instalações hidrossanitárias e melhorar a qualidade de vida dos usuários.

### **Sugestão de trabalhos futuros:**

O presente trabalho teve como objetivo principal realizar diretrizes e condutas no tratamento de ruídos advindos de tubulações hidrossanitárias, executados a partir das normas nacionais, e assim levantar tomadas de decisão na mitigação de patologias acústicas encontradas na bibliografia. A sugestão para a continuidade do trabalho ou de novas pesquisas relacionadas ao tema encontram-se na lista a seguir:

- Avaliar os custos para as soluções apontadas, tanto para os materiais como para a mão de obra envolvida;
- Realizar um estudo de assistência técnica devido às patologias de ruídos apontados;
- Realizar ensaios das tomadas de decisão in loco;
- Levantar Patologias devido à etapa de manutenção dos sistemas envolvidos.

Com isso, acredita-se que os executores e projetistas envolvidos no processo possam ter dados o suficiente para conseguir diminuir os problemas e dificuldades na abordagem deste tema, proporcionando aos usuários melhores condições de conforto e assim, melhor qualidade de vida.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5626 - Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro. 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7198 - Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro. 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 8160 - Sistemas prediais de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro. 1999

\_\_\_\_\_. **NBR 10152 - Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro. 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 10844 - Instalações prediais de águas pluviais - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 15527 – Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro. 1989

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1 a 6**. Rio de Janeiro. 2013

\_\_\_\_\_. **NBR 15710 – Sistemas de rede de coleta de esgoto sanitário doméstico à vácuo**. Rio de Janeiro. 2009

\_\_\_\_\_. **NBR 16313 – Acústica – terminologia**. Rio de Janeiro. 2014

AMANCO BRASIL LTDA. **Manual Técnico – Linha Amanco Silentium PVC – Novafort Coletora de esgotos e águas pluviais para infraestrutura**. Amanco: Joinville/ SC. Nov. 2010. p.59.

AMANCO BRASIL LTDA. **Manual técnico: Linha Amanco PEX**. Amanco: Joinville/ SC. Out. 2015. 28p.

ASPE – American Society of Plumbing Engineers. **Acoustic in plumbing systems**. 2018. 15p. Continuing Education from the American Society of Plumbing Engineers CEU 258. 2018.

AUBICON. **Manual tubulação**. Disponível em:  
<<http://www.aubicon.com.br/produtos/mantas-acusticas/sound-soft-tubulacao>>  
Acessado em: 25 de abril de 2018. Aubicon: São Paulo, SP.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2006. 368p. in: \_\_\_\_\_ São Paulo. Editora Edgard Blücher. 2006. Pág. 160.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263p. Dissertação (Mestre em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo .2008.

CAMARGO, L. A. **O golpe de aríete em tubulações de recalque. Análise simplificada.** In: ENCONTRO DE ENGENHEIROS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA TUBOS E CONEXÕES TIGRE S/A. 15. 1989. Joinville/SC. 1989. p. 03-10

CARMO, L. I. C. **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas.** 45p. Monografia de conclusão do Curso de Especialização em Audiologia Clínica. CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica. Goiânia 1999

CENTER FOR HEARING AND COMMUNICATION. **Common environmental noise levels.** Disponível em: <<http://chchearing.org/noise/common-environmental-noise-levels/>> Acesso em 25 ago. 2018.

COELHO. S. Estocagem e manuseio exigem cautela contra a entrada de resíduos de obra nas peças. 2013. Disponível em < [construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/138/registros-hidraulicos-estocagem-e-manuseio-exigem-cautela-contra-a-299754-1.aspx](http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/138/registros-hidraulicos-estocagem-e-manuseio-exigem-cautela-contra-a-299754-1.aspx)> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

CORRÊA, A. P. E NIEMEYER, M. L. A. **Ruído de tubulação como fator de desconforto em salas de reunião em edifício institucional: um estudo de caso.** 2009. Simpósio Brasileiro de Qualidade de projeto na construção de edifícios – SBQP. 18 a 20 de novembro, São Carlos, SP-USP. 12p.

DANCHENKO, N. **Plumbing noise in water supply and sewage systems.** 2016. 39p. Tese de Bacharelado (Engenharia Civil). Mikkeli University of Applied Sciences. Savonlinna, Finlândia. 2016.

ENVIRONMENT PROTECTION DEPARTMENT The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. **Good practices on pumping system noise control.** 2005. Hong Kong. Japão. 44p.

EVAC. **EVAC product catalogue.** 2015 Doc 003680-1. Estados Unidos 2015. 281p

GEBERIT. **Innovations for your bathroom.** Geberit: 2018.4p. Disponível em: <<https://www.geberit.co.uk/local-media/literature/brochures/geberit-innovations-for-your-bathroom-premium.pdf>> acessado em: 28 de ago de 2018.

GEBERIT. **Installation guide sanitary systems – Geberit sanitary systems – Gebetir Duofix installation recommendations.** 2015. p.4.

GNIPPER, S. F. **Diretrizes para formulação de método hierarquizado para investigação de patologias em sistemas prediais hidráulico sanitários.** 307p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil – Concentração de Arquitetura e Construção) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2010.

INTECH MACHINE – **Manual Bomba Centrífuga BC 1000.** Sem ano. Itaquaquecetuba. São Paulo. 12p.



**ISO 10052 - Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method.** 2004.

**ISO 16032 Acoustics – Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings - Engineering method.** 2004.

JETS. **Vaccum Piping Guide Jets Stantard.** Sem ano e sem local de elaboração. 24p.

JOSSE, R. **La acústica em la construcción.** 291p ed. Barcelona Gustavo Gili, 1975

LEAL, U. **Ruídos em tubulações podem ter várias causas.** 2003. Revista Técnica. Disponível em: <[www.techne17.pini.com.br/engenharia-civil/72/artigo285264-1.aspx](http://www.techne17.pini.com.br/engenharia-civil/72/artigo285264-1.aspx)> Acesso em 23 de março de 2018.

LIMA, C. A. **Análise da cavitação de bombas centrífugas e seus impactos sobre a eficiência energética.** 2015.133p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Universidade Estadual do Paraná. Curitiba, Paraná. 2015.

MACEDO, N. P. **Estudo de patologias em instalações prediais de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais.** 112p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil – Especialização em construções civis) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

MATEUS, D. **Acústica de edifícios e controlo de ruído.** Coimbra: DEC FCTUC, dezembro 2008

MEDEIROS, L. B. **Ruído: Efeitos extra-auditivos no corpo humano.** 1999. Monografia de Conclusão de curso (Audiologia Clínica). Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica. 1999. 35p.

NOISE HELP. **Noise level chart.** Disponível em: <<https://www.noisehelp.com/noise-level-chart.html>> Acessado em: 25 ago. 2018

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for community noise.** 1999. WHO-expert task force meeting. Abril de 1999, Londres. Inglaterra. 162p

PAVANELLO, L. R. **Investigação do ruído gerado por instalações hidrossanitárias em uma edificação multifamiliar.** 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria – UFMS, Santa Maria, 2014.

PIERRARD, J. F., AKKERMAN, D. **Manual proacústica sobre a norma de desempenho. Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da norma NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – edificações.** ProAcústica, 2015.

RAMLOW, A. Zenon. DA SILVA, D. Carlos. **Estudo comparativo entre sistemas de esgotamento a vácuo e por gravidade.** 2017. 75p. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Civil). Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça. 2017.

RAMOS, de Lima. K. **Estudo de eficácia de soluções para atenuação de ruído em instalações de esgoto sanitário**. 170p. 2016. Dissertação (Mestre Engenharia Civil) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, SP. 2016

RESENDE FILHO, A. **Esgotamento sanitário a vácuo**. 145p. 2009. Dissertação (Mestre Engenharia Civil) Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2009.

ROCHA, R. R. **Análise e caracterização de soluções acústicas para mitigar os ruídos oriundos de instalações hidrossanitárias prediais**. 110p. Dissertação (Mestre em Ciências) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 2018.

SANTOS, V. A. L. dos; VAZQUEZ. E. G. **Estudo estatístico de patologias pós-entrega de empreendimentos imobiliários**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construtivo. 13. 2010. Canela: Rio Grande do Sul. 2010.

SILVA, B. A. **Efeito da corrosão de tubulações de aço galvanizado na pressão de um sistema predial de distribuição de água**. 2017. 61p. Trabalho de conclusão de curso Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás 2017.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica e condicionador de ar**. Ed. Belo Horizonte Edtal. 1997. 227p.

SOARES, D. A. F. **Patologias em sistemas hidráulicos prediais e de prevenção contra incêndio**. 37p. Documento Interno Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2010.

TAVARES, I. P. **Gestão de pressão na modelação hidráulica e exploração dos sistemas de distribuição de água**. 2011. 123p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal. 2011.

TESIS – Tecnologia e Qualidade de Sistmas em Engenharia LTDA, ASFAMAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento. **Manual técnico de instalação, uso e manutenção de tubos e conexões de PVC para sistemas hidráulicos prediais**. Entidade Gestora técnica. 2016. p. 43.

TIGRES S/A. **Manual técnico Tigre: orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais**. 5ª Edição. Joinville: Tigre 2010. 188p.

TWYMAN J., TWYMAN C. **Golpe de Ariete en Redes de Tuberías**. 2009. TWYMAN Ingenieros Consultores Ltda. disponível em <[www.twyman.cl](http://www.twyman.cl)> acessado em: 30 de abr. 2018. 2009. p. 7