

Controle de ruídos nos sistemas prediais hidrossanitários: revisão de literatura

Noise control in plumbing systems: literature review

Control de ruidos en los sistemas hidrosanitarios: revisión de la literatura

Dariane Gomes Rocha

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

Laís Aparecida Ywashima*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo; Campus São Paulo; Departamento de Construção Civil.
São Paulo (SP), Brasil.
lais@ifsp.edu.br

Cibele de Moura Guimarães

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

Ricardo Prado Abreu Reis

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Departamento de Construção Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

* Autora correspondente.

CRedit

Contribuição de autoria: Concepção; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: ROCHA, D. G. Concepção; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: YWASHIMA, L. A. Concepção; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: GUIMARÃES, C. M. Concepção; Curadoria de Dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Supervisão; Visualização; Validação; Redação – revisão e edição: REIS, R. P. A.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Daniel Sant’Ana (Editor-Chefe); Livia Santana (Editor Associado).

Resumo

Esta revisão sistemática de literatura foi realizada com objetivo de explorar o estado da arte e evidenciar lacunas na literatura científica na área de ruídos gerados pelo uso de sistemas prediais hidrossanitários em edificações residenciais. São apresentados resultados quantitativos e qualitativos, bem como quadro relacionando o estado da arte *versus* as necessidades e oportunidades desta área de estudo. Apesar de haver poucas publicações da temática em revistas indexadas nas principais bases de pesquisa, notou-se ser comum o estudo sobre o incômodo causado por esse tipo de ruído e sobre formas de controlá-lo. Espera-se com os resultados obtidos contribuir com: (a) o mapeamento das principais referências científica e técnica da literatura; (b) com o estado da arte das pesquisas e discussões pertinentes ao controle de ruído nas instalações hidrossanitárias; e (c) a identificação das principais lacunas de pesquisa. Os resultados proporcionam melhor entendimento do desempenho acústico relacionado ao uso de ambientes hidrossanitários, auxiliando na busca por garantir o conforto e o bem-estar dos usuários de edificações residenciais.

Palavras-Chave: Acústica; Sistemas prediais; Edifícios; Revisão sistemática.

Abstract

This systematic literature review explores the state of the art and identifies gaps in the scientific literature regarding noise generated by hydrosanitary systems in residential buildings. Both quantitative and qualitative results are presented, along with a framework connecting the current state of research to the needs and opportunities in this field. Although relatively few publications on this subject are found in journals indexed in major research databases, studies addressing the annoyance caused by this type of noise and methods to control it are common. The findings aim to: (a) map the key scientific and technical references available in the literature; (b) with the state of the art of research and discussions relevant to noise control in plumbing systems; and (c) identify the primary research gaps. These results provide a deeper understanding of the acoustic performance of hydro-sanitary systems, supporting efforts to enhance comfort and well-being for users of residential buildings.

Keywords: Acoustic; Plumbing systems; Buildings; Systematic review.

Resumen

Esta revisión sistemática de la literatura explora el estado del arte e identifica lagunas en la literatura científica respecto al ruido generado por los sistemas hidrosanitarios en edificios residenciales. Se presentan tanto resultados cuantitativos como cualitativos, junto con un marco que conecta el estado actual de la investigación con las necesidades y oportunidades en este campo. Aunque se encuentran relativamente pocas publicaciones sobre este tema en revistas indexadas en las principales bases de datos de investigación, los estudios que abordan las molestias causadas por este tipo de ruido y los métodos para controlarlo son comunes. Los hallazgos tienen como objetivo: (a) mapear las principales referencias científicas y técnicas disponibles en la literatura; (b) con el estado del arte de la investigación y los debates relevantes para el control del ruido en los sistemas de hidro-sanitarios; y (c) identificar las principales lagunas de investigación. Estos resultados proporcionan una comprensión más profunda del rendimiento acústico de los sistemas hidro-sanitarios, apoyando los esfuerzos para mejorar el confort y el bienestar de los usuarios de edificios residenciales.

Palabras clave: Acústica; Instalaciones hidráulicas; Edifícios; Revisión de literatura.

1 Introdução

Ruído é o som indesejável que, na maioria das vezes, gera efeitos indesejáveis como: perturbação do sono, estresse, tensão, queda do desempenho, falta de concentração, baixa produtividade, irritação, diminuição da qualidade de vida, perda da audição e hipertensão (Bistafa, 2018).

As fontes de ruído, em edificações multipavimento, podem ser classificadas em externas e em internas. Andargie, Touchie e O'Brien (2020) subdividem essas duas classes em: (a) *Fonte externa*: tráfego, construção, atividades de vizinhança externa (restaurantes, pessoas na rua etc.), clima (p. ex. vento); (b) *Fonte interna devido a sistemas e serviços*: sistemas hidrossanitários (tubulações, descarga da bacia sanitária, chuveiro etc.), aquecimento/resfriamento (aquecedores, ar-condicionado, grelhas de insulflamento de ar etc.), instalações de serviço na mesma unidade (lavadora de roupas, coifas etc.), instalações de serviço de outras unidades (elevador, dutos para coleta de lixo etc.); (c) *Fonte interna devido a vizinhos*: ruído através das paredes (pessoas conversando, pets etc.), passos, movimentação de mobiliário e outros ruídos de impacto, ruído através do piso/teto (pessoas conversando, pets etc.), ruído de varandas, ruído de espaços compartilhados (p. ex. corredores e escadas); e (d) *Fonte interna devido a outros moradores*: outros moradores da mesma unidade conversando ou em outras atividades.

Os ruídos externos (trânsito, construção e atividades da vizinhança) causam mais incômodos e distúrbios no sono do que os ruídos internos (Andargie; Touchie; O'Brien, 2020). Um estudo realizado durante a pandemia de COVID-19 sobre a exposição ao ruído no teletrabalho em residências multifamiliares no Canadá (Andargie; Touchie; O'Brien, 2020), revelou que, apesar da redução do ruído ambiental, houve aumento do incômodo percebido pelos ruídos externos provenientes do trânsito e da construção, prejudicando o trabalho. Os ruídos internos gerados pelos ocupantes da mesma unidade foram apontados como os maiores problemas, e os desconfortos mais frequentemente percebidos foram os causados por ruídos aéreos e de impacto dos vizinhos.

As fontes de ruídos hidrossanitários vão desde o alimentador predial até o esgotamento das águas servidas e pluviais, englobando as vibrações nos componentes do sistema de recalque que se propagam pela estrutura da edificação; a passagem da água nas tubulações de distribuição; o fechamento repentino de peças de utilização (válvulas de descarga, torneiras, etc.); descargas de bacias sanitárias, ralos, drenos e sifões; o deslocamento de bolsões de ar nas tubulações de ventilação; entre outros (Bistafa, 1991).

Apesar de o conforto acústico muitas vezes ser ignorado, o planejamento acústico é fundamental para atender às especificações de conforto e de funcionalidade para as diversas tipologias de edificações (Rossi *et al.*, 2018). Ao longo dos anos, estudos e normas na área de acústica de edificações têm sido desenvolvidos, porém muitas das informações ainda se encontram dispersas.

Os métodos de medição e os critérios de avaliação são avanços no sentido do controle de ruído, mas, observa-se que atender aos níveis de pressão sonora permitidos por leis, normas ou decretos nem sempre significa que o ruído não irá gerar incômodo. Níveis de pressão sonora de 5 dB acima do nível residual já são audíveis e percebidos pela maioria das pessoas, e causam incômodos por serem percebidos de forma destoante do som ambiente (Mirowska, 2005).

Diante deste contexto, este estudo objetivou explorar o estado da arte sobre os ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários de edificações residenciais, evidenciando os avanços alcançados na área e as lacunas existentes na literatura científica. Ao fim, buscou-se apresentar um panorama geral da acústica de sistemas prediais hidrossanitários de edificações residenciais para profissionais e pesquisadores.

2 Método

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi realizada uma revisão sistemática de literatura (Petersen; Vakkalanka; Kuzniarz, 2015) com o objetivo de responder à questão de pesquisa: o que tem sido estudado sobre o desempenho acústico e controle de ruídos gerados pelo funcionamento dos sistemas prediais hidrossanitários em edificações residenciais?

A revisão de literatura consistiu em pesquisa sistemática nas principais bases de dados científicos da engenharia: *Scopus*, *ScienceDirect*, *Engineering Village (Compendex)* e *IEEE Xplore*. A partir da leitura de artigos conhecidos da área de desempenho e de qualidade acústica relacionados aos sistemas hidrossanitários de edificações habitacionais (Jeon; Ryu; Lee, 2010; Yang; Cho; Kim, 2016; Ryu; Song, 2019), foram selecionadas palavras-chave para nortear a revisão de literatura, e definiu-se a expressão lógica, ou *string*, para busca nas bases:

- *(Noise) AND (residential OR building* OR dwelling* OR house* OR home*) AND (water OR drainage)*

Os termos seguidos por asteriscos (como *building**) indicam que foram pesquisadas as variações possíveis de palavras iniciadas pelo mesmo termo (no exemplo: *building*, *buildings*, entre outros). Em testes realizados, ao incluir os termos relacionados aos sistemas prediais, como *plumbing*, poucos trabalhos retornavam nas buscas. Os termos *water* e *drainage* se mostraram mais adequados para obter trabalhos sobre sistemas prediais hidrossanitários. Nas bases de dados, sempre que disponível, foi aplicado filtro para busca apenas no título, resumo e palavras-chave. O estudo limitou-se a artigos e revisões de literatura publicados em revistas, nas linguagens português, inglês ou espanhol. Nota-se que na *ScienceDirect* o caracter “*” não é aceito, de modo que foram removidos da *string*. Na base *IEEE Xplore* não há filtro específico para pesquisar a *string* simultaneamente nos campos de título, resumo e palavras-chaves dos artigos, de modo que foram realizadas três etapas de pesquisa, uma em cada campo.

Foram removidos os artigos duplicados coletados das diferentes bases. Na sequência, foi definido um critério para os títulos e palavras-chave do trabalho e/ou autor, quando existentes, a fim de verificar a manutenção ou não dos artigos no estudo, antes da leitura dos títulos e resumos. Assim, o primeiro critério foi aplicado nos títulos e palavras-chave do artigo ou autor. Para ser mantido no estudo, estes campos deveriam conter pelo menos uma palavra do Grupo A e uma palavra do Grupo B, descritas no Quadro 1.

Quadro 1: Palavras para seleção dos trabalhos.

Grupo A		Grupo B
<i>buil</i>	<i>dwelling</i>	<i>acoustic</i>
<i>resident</i>	<i>pump</i>	<i>noise</i>
<i>house</i>	<i>plumb</i>	<i>sound</i>
<i>home</i>	<i>domestic</i>	

Para os artigos restantes foi realizada a leitura do título e do resumo. Foram excluídos aqueles que não tivessem relação com a questão de pesquisa da revisão da literatura ou que não estivessem disponíveis na íntegra para leitura.

Nas pesquisas exploratórias, observou-se que foi retornada uma pequena quantidade de artigos. Deste modo, os resultados e discussões deste trabalho buscaram analisar cada um dos trabalhos retornados. Os artigos completos mantidos na revisão de literatura foram lidos e foi verificado se o assunto principal tratado estava dentro do escopo do estudo realizado. Em caso negativo, o artigo foi removido; em caso positivo, o artigo foi mantido. Em alguns casos, os artigos selecionados para leitura e coleta de informações continham referências pertinentes para o tema em estudo. Com intuito de obter uma visão mais abrangente da área de estudo, estas referências foram incluídas nesta revisão de literatura (técnica conhecida como *snowball* - Benjamin *et al.*, 2019; Bockorni e Gomes, 2021).

Referências amplamente conhecidas e que não apareceram na revisão de literatura também foram incluídas nos resultados da pesquisa, como é o caso de normas técnicas brasileiras. Essas inclusões foram evidenciadas e devidamente justificadas. Considerando a relação de artigos selecionados para a revisão de literatura, as seguintes informações foram relacionadas:

- Assunto principal do artigo;
- Palavras-chave (tópicos ou assunto, quando adequado) para identificar o artigo;
- Normas e documentos institucionais citados (no contexto do estudo);
- Contribuições e conclusões do estudo;
- Objeto de estudo do artigo (tubulação, bomba, material de isolamento, conforto, percepção do usuário etc.);
- Metodologia utilizada (revisão de literatura, simulação, medição de campo etc.); e
- Lacunas de estudo ou sugestões para estudos futuros.

As informações acima foram agrupadas e relacionadas para verificar a existência de tendências e padrões e apresentá-los nos resultados e discussões deste estudo. Por fim, as informações coletadas com a revisão de literatura foram reunidas para elaboração de um esquema-síntese do *Estado da Arte versus Necessidades e Oportunidades* sobre o desempenho acústico e controle de ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários.

3 Resultados e Discussões

A pesquisa nas bases de dados científicos foi realizada no dia 06 de setembro de 2024, conforme metodologia utilizando-se o portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por meio da plataforma CAFE (Comunidade Acadêmica Federada). A quantidade de artigos que cada base de dados e o total sem duplicatas estão no Quadro 2.

Após a remoção das duplicatas, foram aplicados filtros em planilha eletrônica, conforme critério de palavras descrito no Quadro 1. Dos 1.358 artigos, restaram 150 artigos. Após a leitura dos títulos e resumos, restaram 19 artigos que mantinham relação com a questão de pesquisa. Todavia, destes 19 artigos: 2 eram apenas resumos, 2 não estavam disponíveis para acesso sem custo, e 2 não tratavam de sistemas prediais

hidrossanitários. Logo, a seleção de artigos resultou em 13 artigos científicos. Os 13 artigos científicos foram lidos na íntegra e as referências pertinentes para a revisão de literatura foram acrescentadas pela técnica *snowball*.

Quadro 2: Quantidade de artigos retornados por cada base de dados.

Base de dados	Quantidade de artigos	Total geral	Total sem duplicatas
Scopus	1.082	2.610	1.358
ScienceDirect	210		
Web of Science	753		
Engineering Village (Compendex)	524		
IEEE Xplore	41		

Ao todo, 4 novos artigos foram acrescentados para coleta de informações, totalizando 17 artigos. Além dos artigos, foram acrescentadas 8 normas técnicas e 3 manuais pela técnica *snowball* e 3 normas brasileiras devido à pertinência ao tema e a ausência de trabalhos brasileiros nas bases pesquisadas, totalizando 14 textos técnicos apresentados no item 3.2. Um compilado de informações dos 17 artigos científicos levantados pelo estudo é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Compilado de informações dos artigos selecionados na revisão de literatura.

Fonte	Revista	Assuntos							Metodologias empregadas								
		Método de cálculo	Modelo para previsão	Avaliação do ruído	Solução para melhoria do desempenho acústico	Caracterização do ruído	Revisão bibliográfica	Percepção do usuário	Impacto na saúde	Revisão da literatura	Teste auditivo	Simulação com realidade virtual	Medição em campo	Medição em laboratório	Questionário	Relato autobiográfico	Métodos numéricos para previsão acústica
Caniato et al. (2019)	Building Acoustics	X										X					X
Demirel (2006)	Building and Environment				X							X					
Fuchs (1983)	Applied Acoustics					X							X				X
Fuchs (1993)	Applied Acoustics				X								X				X
Gibbs e Villot (2020)	Noise Control Engineering Journal	X				X						X					X
Goydke (1997)	Applied Acoustics						X			X							
Jeon et al. (2019)	Applied Acoustics			X				X			X						
Jeon, Ryu e Lee (2010)	Applied Acoustics		X					X		X	X						
Kitamura et al. (2002)	Journal of Temporal Desing...			X				X				X	X				X
O'Neil (2010)	Canadian Acoustics...				X											X	
Romeu, Jiménez e Capdevila (2004)	Applied Acoustics			X	X							X	X				
Rustum e Emmanuel (2023)	International Journal of Geomate								X						X		
Ryu e Song (2019)	Building and Environment					X		X									

Fonte	Revista	Assuntos								Metodologias empregadas							
		Método de cálculo	Modelo para previsão	Avaliação do ruído	Solução para melhoria do desempenho acústico	Caracterização do ruído	Revisão bibliográfica	Percepção do usuário	Impacto na saúde	Revisão da literatura	Teste auditivo	Simulação com realidade virtual	Medição em campo	Medição em laboratório	Questionário	Relato autobiográfico	Métodos numéricos para previsão acústica
Schwartz (2008)	EM: Air and Waste Management ...								X	X							
Wang et al. (2024)	Archives of Acoustics	X	X														X
Wassilieff e Dravitzki (1992)	Applied Acoustics	X	X														X
Yang, Cho e Kim (2016)	Applied Sciences-Basel			X								X					
	TOTAL	4	3	4	4	3	1	4	2	3	1	1	6	4	1	1	7

As Figuras 1 a 3 destacam informações sobre as publicações na área de acústica de sistemas prediais hidrossanitários. A leitura do gráfico da Figura 1 informa que a maioria das publicações com essa temática foram realizadas na revista *Applied Acoustics*. A quantidade de publicações realizadas anualmente, todavia, é muito baixa, conforme gráfico da Figura 2.

Figura 1: Distribuição da quantidade de artigos publicados nas diferentes revistas.

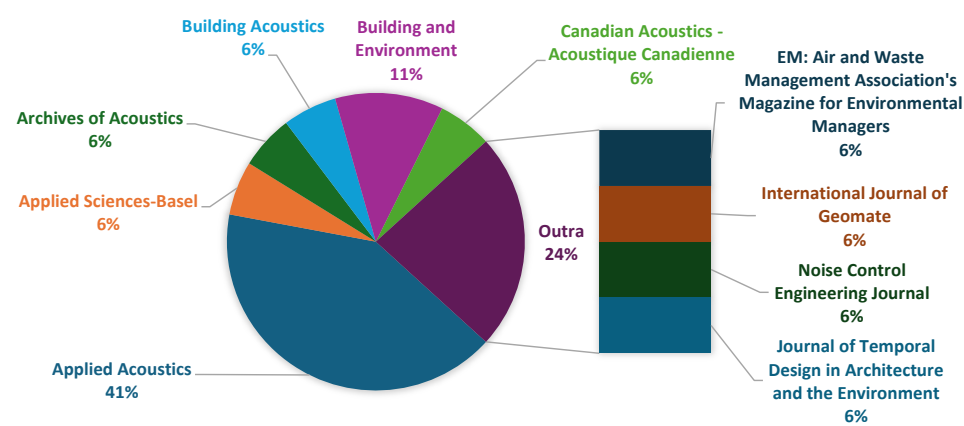
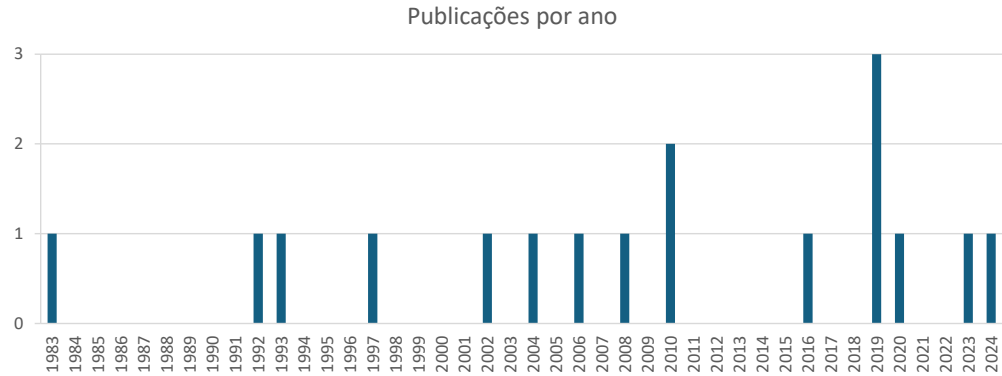
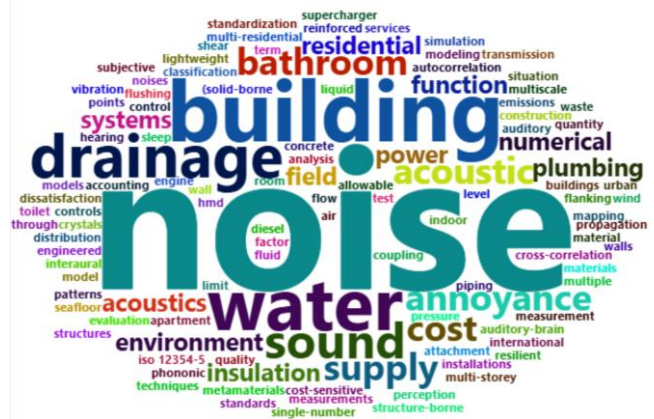


Figura 2: Publicações por ano.



A Figura 3 apresenta o compilado de palavra-chave coletadas dos artigos, organizado utilizando da linguagem R de programação no formato de nuvem de palavras. Em uma nuvem de palavras, quanto maior uma palavra é apresentada, maior é a frequência que ela foi citada.

Figura 3: Nuvem de palavras-chave associadas ao tema de pesquisa.



As palavras-chave mais utilizadas, como esperado, são relacionadas a ruído, edificações e sistemas hidrossanitários. Destacam-se as palavras “*residencial*” e “*bathroom*”, evidenciando serem mais comuns estudos em sistemas hidrossanitários de banheiros e em residências. A palavra “*annoyance*” também merece destaque, visto que são comuns estudos sobre o incômodo causado pelo ruído.

Na etapa de leitura dos artigos, foi possível agrupar as principais contribuições na área de estudo em grandes grupos, sendo eles:

- Características e consequências dos ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários;
- Literatura técnica sobre ruídos em sistemas prediais hidrossanitários;
- Soluções para mitigação de ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários; e
- Lacunas identificadas na área de pesquisa.

As principais discussões realizadas na literatura científica sobre estes grandes grupos são apresentados a seguir.

3.1 Características e consequências dos ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários

Os ruídos gerados pelo esgotamento sanitário têm origem aérea e vibracional (Caniato *et al.*, 2019) e são gerados pela passagem de sólidos, gases e líquidos nas tubulações (Rustum e Emmanuel; 2023). Esses ruídos possuem características de alta frequência, com níveis de pressão sonora que aumentam com a frequência (Wang *et al.*, 2024). Nos casos dos edifícios altos, a maior pressão e velocidade de escoamento sobre o sistema suprimento e distribuição de água pode implicar em níveis de ruído mais altos (Wassilieff e Dravitzki, 1992). Os principais processos geradores de ruído são o fluxo turbulento, a cavitação, o golpe de aríete, o vórtice e a pulsação de volume (Romeu, Jiménez e Capdevila, 2004). Os ruídos hidrossanitários têm a particularidade de causar incômodo, diferente de outros ruídos de edificações, por trazerem consigo informações íntimas dos

usuários da edificação. Ainda, estes ruídos não podem ser influenciados pelo usuário para serem menos ruidosos à noite, por exemplo (Fuchs, 1983).

Após medições de diferentes origens, segundo o estudo de Yang, Cho e Kim (2016), os ruídos do sistema predial hidrossanitário que merecem prioridade para controle são os gerados pelo esgotamento da bacia sanitária, lavatório e banheiro e pelo abastecimento de água das caixas de descarga das bacias sanitárias.

Os problemas discutidos na literatura com relação aos ruídos causados pelo sistema predial hidrossanitário de edificações estão relacionados à percepção do usuário (se o ruído causa ou não incômodo) e a possíveis impactos na saúde ou nas atividades diárias do usuário (Schwartz, 2008; Jeon; Ryu; Lee, 2010; Jeon *et al.*, 2019; Ryu; Song, 2019; Rustum; Emmanuel, 2023). A reação das pessoas ao incômodo causado pelos ruídos depende de características objetivas do ruído (como intensidade e frequência) e, também, de fatores subjetivos como a sensibilidade individual ao ruído e a situação de exposição (Ryu; Song, 2019). Nesse sentido, mesmo apresentando níveis de pressão sonora (NPS) baixos, os ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários podem causar incômodo.

Ao relacionar medição de ruído hidrossanitário com o funcionamento do sistema auditivo humano, Kitamura *et al.* (2002) concluíram que o ruído afeta os dois hemisférios cerebrais ao mesmo tempo, o que sugere que a avaliação do incômodo sonoro deve considerar além do nível de pressão sonora, como o cérebro humano percebe as variações no som. Portanto, segundo os autores, é insuficiente caracterizar apenas o nível de pressão sonora por frequência em medições de ruído: deve-se também considerar fatores temporais e espaciais.

Jeon, Ryu e Lee (2010) realizaram uma pesquisa sobre a relação entre a insatisfação com o ruído do ambiente interno e a insatisfação com ruídos individuais (ruído de impacto no piso, aéreo, de drenagem, esgotamento sanitário e tráfego). A partir de experimentos auditivos, os autores propuseram equações para prever o grau de insatisfação com o ambiente sonoro interno com base nos níveis de ruído individuais, desenvolvendo um método de classificação para ambientes sonoros com múltiplas fontes de ruído em edifícios residenciais. O incômodo com ruídos foi obtido a partir dos experimentos laboratoriais, e as classificações de insatisfação foram convertidas em percentuais de acordo com a relação entre incômodo e insatisfação observada.

Já Jeon *et al.* (2019) propuseram uma metodologia de avaliação de ruído interno usando tecnologia de realidade virtual (RV). Os autores realizaram um teste auditivo de ruídos provenientes dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de apartamentos em diferentes ambientes, utilizando a RV e a influência do uso dos óculos de realidade virtual (*head-mounted display* – HMD). Os resultados obtidos confirmaram a aplicabilidade dos óculos de RV (HMD) na avaliação de ruídos do cotidiano em edifícios de apartamentos. Com o método de avaliação proposto, se a direção dos sons para os ruídos puder ser fornecida, avaliações subjetivas dos ruídos da vida diária poderiam ser efetivamente conduzidas sob condições limitadas por meio da implementação de configurações idênticas às usadas nas avaliações no local.

3.2 Literatura técnica sobre ruídos em sistemas prediais hidrossanitários

Dada a existência de normas internacionais específicas que norteiam a medição do ruído gerado por sistemas prediais hidrossanitários em edificações, as metodologias

normativas são amplamente utilizadas. Durante a revisão de literatura foram observadas citações de diferentes normas relacionadas à acústica em edificações, sendo algumas sobre os sistemas prediais hidrossanitários.

Duas observações se fazem necessárias quanto a literatura técnica sobre ruídos hidrossanitários. A primeira é que os textos técnicos citados na literatura científica geralmente têm o seu acesso pago. Deste modo, a comparação entre o conteúdo de diversos textos técnicos se torna dificultada pelo custo associado. Outrossim, a leitura direta para verificação do conteúdo dos textos técnicos se torna um processo complexo devido à indisponibilidade de acesso livre às informações.

A segunda observação a ser feita é que, apesar de a presente revisão de literatura considerar artigos de revistas indexadas nas principais bases de literatura científica, como descrito na metodologia, não foram encontrados trabalhos brasileiros e de tantos outros países. Logo, textos técnicos de determinados países podem não ter sido captados pelo estudo, apesar de existirem. Para ampliar a contribuição desse estudo, portanto, optou-se por incluir neste artigo a citação de textos técnicos brasileiros pertinentes, promovendo a divulgação científica de sua existência e aplicação.

A seguir são apresentados os textos técnicos levantados na revisão de literatura e aqueles amplamente utilizados no Brasil.

3.2.1 Textos técnicos da revisão sistemática

Goydke (1997), à época de sua pesquisa sobre normalizações, classificou as normalizações relacionadas à acústica de edificações em: (a) propriedades dos materiais; (b) medições do tempo de reverberação; (c) medição e classificação do isolamento acústico; (d) ruído proveniente de sistemas prediais de água e de equipamentos de serviço em edifícios; e (e) estimativa do desempenho acústico de edifícios.

O Quadro 4 apresenta uma lista de normas que foram consideradas integrantes do item (d) ruído proveniente de sistemas prediais de água e de equipamentos de serviço em edificações. Ao longo dos anos as normas costumam ser revistas ou substituídas, de modo que, para compor o Quadro 4, foram dispostas as versões vigentes no mês de novembro de 2024.

Devido à dificuldade de acesso direto ao conteúdo das normas referenciadas, visto que muitas delas possuem custos para visualização, foram incluídas no quadro apenas normas que, segundo os artigos estudados, se relacionam com a acústica em sistemas prediais hidrossanitários.

As normas relacionadas no Quadro 4 são, em geral, normas contemplando metodologias para medição de ruído e, em alguns casos, indicações de formas de redução deste.

Quadro 4: Normas relacionadas aos ruídos hidrossanitários.

Norma	Local	Título
DIN EN 4109-1 (DIN, 2018)	Alemanha	<i>Sound insulation in buildings — Part 1: Minimum requirements.</i>
DIN EN 14366-1 (DIN, 2023)	Alemanha	<i>Laboratory measurement of airborne and structure-borne sound from service equipment - Part 1: Application rules for waste water installations</i>
ISO 3822-1 (ISO, 1999/2021a)	Internacional	<i>Acoustics — Laboratory tests on noise emissions from appliances and equipment used in water supply installations – Part 1: Method of measurement</i>
ISO 10052 (ISO, 2021b)	Internacional	<i>Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method</i>
ISO 16032 (ISO, 2024)	Internacional	<i>Acoustics — Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings — Engineering method</i>
KS F 2870 (KS, 2021a)	Coreia do Sul	<i>Standard test method of water supply noise in apartment bathroom</i>
KS F 2871 (KS, 2021b)	Coreia do Sul	<i>Standard test method of drainage noise in apartment bathroom</i>
KS F 2872 (KS, 2023)	Coreia do Sul	<i>Evaluation of Noise from Water Supply and Drainage Systems in Apartment Bathrooms.</i>

A literatura também apresenta textos técnicos na forma de manuais, os quais apresentam desde recomendações de projetos para redução de ruído até indicações de níveis máximos de ruído hidrossanitário recomendadas. São exemplos de manuais:

- *ASHRE handbook* (ASHRE, 2024);
- *BS 8233 - Guidance on sound insulation and noise reduction for buildings* (BSI, 2014) utilizado no Reino Unido; e
- *Plumbing Engineering Design Handbook* (ASPE, 2021).

Outra literatura de interesse é o *Green Standard for Energy and Environmental Design (G-SEED)* (Korea, 2016). Este selo é aplicado na Coreia e permite avaliação de ruídos hidrossanitários. Diferente da forma clássica de avaliação direta do nível de ruído por meio de medições, a avaliação de ruídos hidrossanitários feita pelo *G-SEED* considera se foram ou não aplicados soluções que gerem baixos níveis de ruídos nas edificações (Yang, Cho e Kim, 2016).

Para a avaliação de ruídos, há a norma internacional de classificação acústica de edificações residenciais ISO/TS 19488 (ISO, 2021c). Dentre os critérios apresentados, são estabelecidos níveis máximos de ruído em cômodos habitáveis de residências, provenientes de equipamentos de serviço, o que pode incluir a avaliação de ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários.

A EN 817 (CEN, 2008), apesar de não tratar de sistemas hidrossanitários, no geral, traz parâmetros acústicos com os quais válvulas/torneiras de mistura mecânica de água devem estar em conformidade. Conforme a norma, estas válvulas/torneiras são utilizadas em equipamentos hidrossanitários como banheiras, lavatórios, bidês, chuveiros e pias.

No contexto de projetos relacionando acústica e sistemas prediais hidrossanitários, Caniato *et al.* (2019) e Wang *et al.* (2024) ressaltam a necessidade de desenvolvimento e aplicação de metodologias de previsão de ruídos hidrossanitários, bem como a divulgação dos dados gerados. Apesar da existência da norma ISO 12354-5 (ISO, 2017), sua aplicação para prever ruídos de sistemas prediais hidrossanitários apresenta

ambiguidades e necessita de ajustes para conseguir representar situações reais (Caniato *et al.*, 2019).

3.2.2 Textos técnicos no contexto brasileiro

No Brasil são amplamente seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), inclusive aquelas que advêm de traduções de normas internacionais. Como as normas internacionais já foram apresentadas, neste tópico são evidenciadas as normas nacionais.

As normas NBR 5626 (ABNT, 2020a) para sistemas prediais de água fria e quente, NBR 8160 (ABNT, 1999) para sistema predial de esgoto sanitário e NBR 10844 (ABNT, 1989) para instalações prediais de águas pluviais não apresentam requisitos acústicos específicos para sistemas prediais hidrossanitários, porém indicam como critério de desempenho, que os projetos destes sistemas devem ser concebidos de modo a não gerar ruídos excessivos.

No contexto de metodologias de medição de ruído hidrossanitário é de interesse citar a NBR 10152 (ABNT, 2022b). Esta norma apresenta metodologia para caracterizar os níveis de pressão sonora em ambientes internos às edificações, incluindo os gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários. Observa-se, que a NBR 10152 (ABNT, 2022b) recomenda, nas situações de ruídos provenientes de equipamentos e/ou sistemas prediais, a utilização da metodologia de medição da NBR ISO 16032 (ABNT, 2024), tradução da norma internacional.

Quanto à avaliação dos ruídos hidrossanitários, a NBR 15575-6: (ABNT, 2021), define níveis máximos a serem apresentados em edificações residenciais, em caráter não obrigatório (informativo). De acordo com o nível de ruído gerado pelos sistemas prediais hidrossanitários este é classificado com desempenho mínimo, intermediário ou superior. O Quadro 5 apresenta os critérios para o nível de pressão sonora equivalente padronizada ($L_{Aeq,NT}$) e nível máximo de pressão sonora padronizada ($L_{AS,máx,NT}$) da NBR 15575-6 (ABNT, 2021).

Quadro 5: Critérios de níveis de desempenho para ruídos de equipamentos prediais.

Nível de desempenho	$L_{Aeq,NT}$	$L_{AS,máx,NT}$
Superior	≤ 30	≤ 36
Intermediário	≤ 34	≤ 39
Mínimo	≤ 37	≤ 42

Fonte: NBR 15575-6 (ABNT, 2021).

3.3 Soluções para a mitigação de ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários

Para O’Neil (2010) o projetista de acústica deve considerar o custo-benefício das diferentes propostas de solução acústica, avaliando qual nível de desempenho é desejado pelo construtor (“bom”, “melhor” ou “ótimo”), possibilitando atender tanto as restrições de orçamento quanto as necessidades do cliente, sem comprometer a qualidade acústica.

Como os sistemas prediais hidrossanitários compõem as edificações, as características construtivas podem influenciar os ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários. Por exemplo, Wang *et al.* (2024) observaram que a posição da porta e da

tubulação, bem como o material da parede divisória entre um banheiro e um ambiente adjacente (sala ou dormitório, p. ex.) influencia o nível e a distribuição do ruído que se espalha pelo ambiente adjacente.

Gibbs e Villot (2020) citam que para definir soluções para melhorar o desempenho acústico deve ser considerada a fonte sonora, a faixa de frequência predominante e o tipo de transmissão (aérea, estrutural ou a combinação de ambas). O controle ativo dos processos de excitação e propagação de ruído requer algum conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos e acústicos mais relevantes (Fuchs, 1983).

Algumas soluções são apresentadas no *G-SEED* (Korea, 2016) segundo Yang, Cho, e Kim (2016) são: limitar a pressão da água na habitação a $2,5 \text{ kgf.cm}^{-2}$ (250 kPa); utilizar bacia sanitária com volume de descarga reduzido (VDR) ou ultra reduzido (VDUR) (inferior a 6 L/descarga); instalar amortecedores nas lajes nos cruzamentos de tubulações; utilizar tubo de esgoto com baixa emissão de ruído; instalar as tubulações de abastecimento de água e de esgotamento sanitário pelo piso; e, adotar medidas para a redução de ruído nos dutos de ar. Ressalta-se que o uso de descargas com volume reduzido ou ultra reduzido necessitam de adequações nos diâmetros e declividades das redes de esgoto conforme Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento e Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia (2016).

A pressão na rede de abastecimento de água deve ser mantida abaixo de 150 kPa para limitar os níveis de ruído de acordo com os padrões internacionais (Romeu, Jiménez e Capdevila, 2004). A desconexão das tubulações, que consiste na interrupção do contato direto entre estas e as superfícies do edifício, impedindo a transmissão de parte das vibrações, é uma das principais formas de tratamento de problemas com ruídos provenientes de sistemas prediais hidrossanitário (O'Neil, 2010).

Em estudos realizados em laboratório e em campo em residências na Espanha, Romeu, Jiménez e Capdevila (2004) identificaram a torneira como a principal fonte de ruído em sistemas hidráulicos pois que é nesse ponto que ocorre a maior variação de diâmetro, podendo causar cavitação, aumento de turbulência e pulsação, entre outros fenômenos. Os autores destacam que o uso da torneira tipo I, conforme a norma EN 817 (CEN, 2008), resulta em menor geração de ruído, com reduções variando de 5 a 12 dB em comparação com torneiras comuns, devido ao seu funcionamento com vazões mais baixas. O ruído é causado principalmente pela flutuação das massas de fluido devido à restrição de fluxo nas torneiras, fenômeno que predomina em vazões de até $0,35 \text{ L.s}^{-1}$. Os autores também ressaltam que, em vazões maiores, pode ocorrer cavitação. A cavitação é um fenômeno físico que ocorre quando a pressão de um líquido cai abaixo de sua pressão de vapor, formando bolhas de vapor que, ao serem comprimidas, se colapsam violentamente, liberando energia. O ruído gerado por esse impacto hidrodinâmico é intenso quando as bolhas de cavitação colapsam ao atingir as paredes (Fuchs, 1993).

Para reduzir o ruído transmitido de um banheiro da unidade residencial superior para a unidade inferior, pode-se executar um forro no teto da unidade inferior associado à uma seleção apropriada de materiais (Ryu; Song, 2019).

Yang, Cho e Kim (2016) destacam a falta de investigação detalhada sobre o impacto de diferentes materiais de isolamento acústico e métodos construtivos na redução do ruído transmitido pelas tubulações de água e esgoto.

O isolamento acústico nas tubulações reduz significativamente o ruído em ambientes adjacentes, melhorando o conforto acústico dos moradores, o que foi constatado por Demirel (2006) ao realizar medições em duas edificações com objetivo de avaliar o efeito do isolamento acústico em tubulações de água sobre os níveis de ruído interno dos apartamentos.

O uso de materiais nas tubulações dos sistemas prediais hidrossanitários com maior amortecimento interno também contribui para melhorar o controle do ruído gerado. Conforme Wassilieff e Dravitzki (1992), os níveis de ruído do policloreto de vinila (PVC) e do polibutileno (PB) são menores do que o do cobre. Na pesquisa de Romeu, Jiménez e Capdevila (2004), o uso de abraçadeiras nos ramais de cobre reduziu o nível de ruído de 2 a 5 dB, enquanto nas tubulações de PB não houve redução significativa.

O controle de qualidade da execução de banheiros também pode contribuir para melhorar o desempenho acústico dos sistemas prediais hidrossanitários. Yang, Cho e Kim (2016) observaram que os banheiros pré-fabricados apresentaram melhor desempenho acústico do que os construídos pelo método convencional, no próprio local da obra. Esse comportamento provavelmente se deve à padronização e precisão na montagem dos componentes apresentadas no método pré-fabricado e, muitas vezes, ao uso de materiais que absorvem o som. Destacam que o método pré-fabricado pode ter limitações em termo de *design* e personalização.

3.4 Lacunas identificadas na área de pesquisa

Fuchs (1983) sugere que futuros estudos poderiam explorar os mecanismos de ressonância acústica dentro das tubulações e desenvolver dispositivos de silenciamento mais eficazes para atenuar o som transmitido pela coluna de água. O desenvolvimento de novos materiais como tubos e componentes mais eficientes quanto à propagação de ruído já se encontram desenvolvidos pela indústria e disponíveis no mercado, tais como os tubos Redux (Tigre Brasil, 2024) e Silentium (Amanco-Wavin, 2024).

Wassilieff e Dravitzki (1992) citam que, por não estarem disponíveis dados de nível de ruído de tubulações típicas, há uma tendência de superestimar as soluções para controle de ruído para garantir seu funcionamento. Além disso, pouco é discutido sobre a necessidade de caracterizar não somente o nível de pressão sonora por frequência em medições de ruído hidrossanitário, mas também fatores temporais e espaciais, como sugerem Kitamura *et al.* (2002).

Yang, Cho e Kim (2016) destacam a necessidade de diretrizes acústicas mais rigorosas para controlar o ruído em banheiros, especialmente para o ruído de esgotamento sanitário, que se mostrou mais perceptível para os moradores das edificações. Os autores sugerem explorar a eficácia de diferentes materiais de isolamento acústico para sistemas de esgotamento sanitário, assim como investigar a influência de variáveis como pressão da água e métodos de instalação para reduzir o ruído de forma eficaz.

Gibbs e Villot (2020), a partir de medições laboratoriais e cálculos simplificados de mobilidade, fornecem uma abordagem prática para prever o som transmitido pela estrutura em edifícios. Destacam a necessidade de trabalhos sobre as incertezas nas propostas simplificadoras e que as abordagens descritas satisfazem as necessidades dos profissionais para a previsão e avaliação de problemas de ruído transmitidos por estruturas em edifícios. Nos estudos de Caniato *et al.* (2019) e Wang *et al.* (2024) é evidenciada a necessidade de avanços na integração entre medições experimentais e

métodos de previsão de ruídos hidrossanitários, sejam nas metodologias normativas ou simulações numéricas. Para os autores, os modelos de simulação frequentemente simplificam as condições reais de fluxo e acústica, resultando em discrepâncias quando comparados aos dados coletados em campo, sugerindo o desenvolvimento de técnicas de modelagem mais precisas, que incorporem variáveis mais representativas de situações práticas.

Os métodos de previsão do desempenho acústico em normas internacionais para edifícios pesados (alvenaria, parede e piso de concreto) e leves (madeira maciça ou aço), conforme NBR ISO 12354-1 (ABNT, 2023), em termos de isolamento acústico aéreo e de impacto, são baseados no desempenho de elementos individuais (como paredes e pisos), caracterizados pelo índice de redução sonora e pelo nível de pressão sonora de impacto (Gibbs; Villot, 2020). Para prever o nível de pressão sonora causado por fontes vibratórias, como sistemas hidrossanitários e equipamentos, é necessário utilizar dados da fonte com quantidades equivalentes e valores médios de frequência. Gibbs e Villot (2020) propõem uma base de dados, derivada de medições laboratoriais e cálculos simplificados de mobilidade, para prever o som transmitido pela estrutura em edifícios. Embora destaquem a necessidade de mais estudos sobre incertezas nas simplificações, os autores avaliam que as abordagens atuais atendem às necessidades dos profissionais para prever e avaliar problemas de ruído transmitido por estruturas em edifícios.

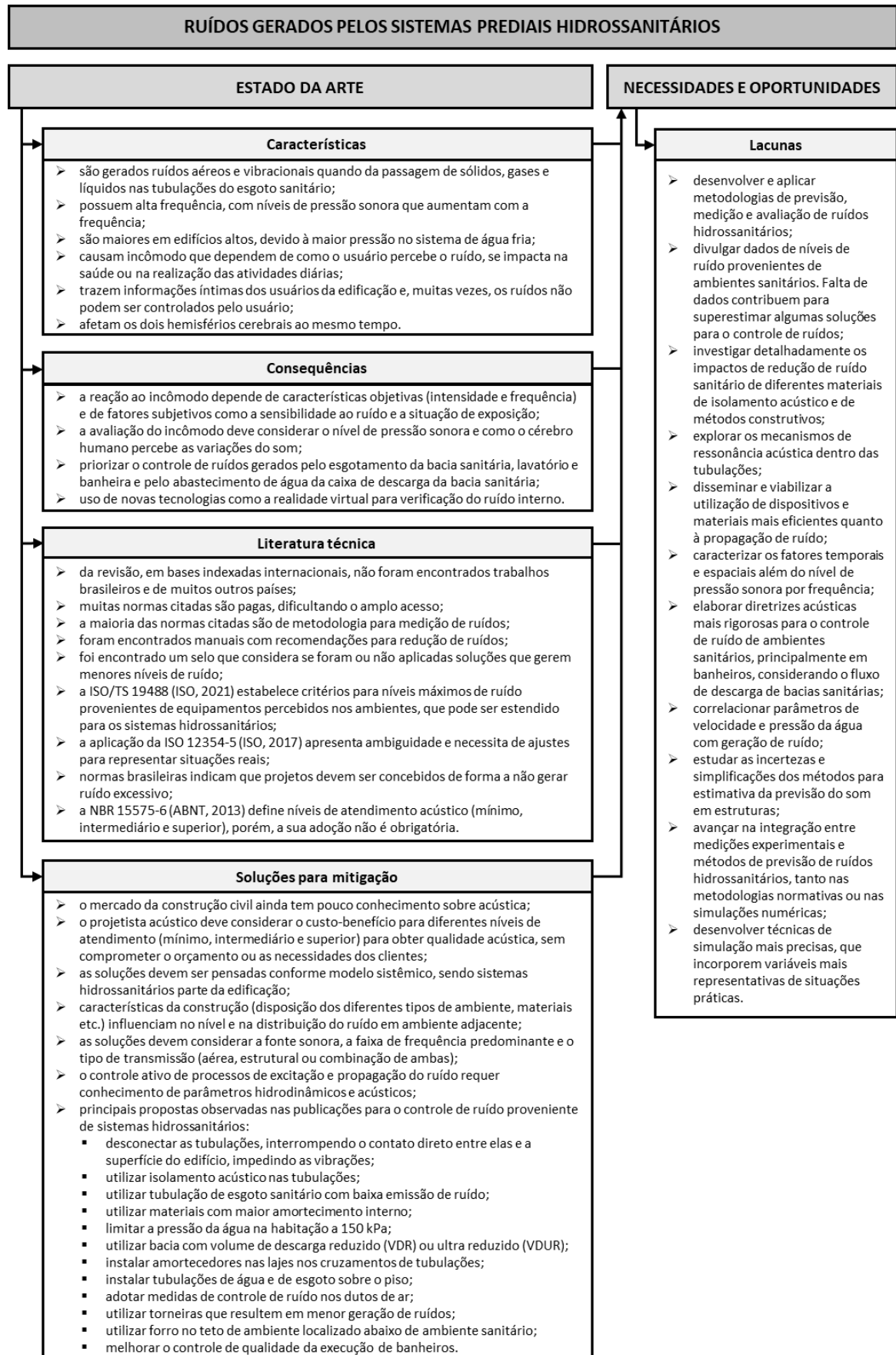
É necessário que sejam realizadas e divulgadas mais pesquisas de caracterização de ruídos hidrossanitário para o avanço do controle desse tipo de ruído. Nesta revisão de literatura, poucas publicações foram observadas para divulgação de resultados de medições de situações típicas de geração de ruídos hidrossanitários em bases indexadas. Em pesquisas exploratórias, notou-se que esse tipo de divulgação de informações é mais comum em artigos de congressos. Como exemplos, citam-se os trabalhos de Pavanello, Paixão e Lunge (2014); Bleichvel, Kalbusch e Iafigliola (2018); Rocha, Giner e Prado (2018); Eichler *et al.* (2023); e, Nascimento *et al.* (2023).

Outra questão observada durante a revisão de literatura foi relacionada às informações técnicas. A literatura técnica, em sua maioria composta por normas e manuais, não é de acesso livre. Assim, ter acesso a procedimentos de medição de ruído, a parâmetros de avaliação e às orientações de métodos de controle de ruído correspondem a custos adicionais. Essa situação pode corroborar para a já existente uma visão do mercado de que tratamentos acústicos aumentam os custos das edificações (O'Neil, 2010).

3.5 Panorama geral

O esquema-síntese do *Estado da Arte versus Necessidades e Oportunidades* sobre o desempenho acústico e os ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários obtidos a partir desta revisão sistemática é ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Ruídos gerados pelos sistemas prediais hidrossanitários: estado da arte *versus* necessidades e oportunidades.



4 Conclusão

A presente revisão de literatura teve como objetivo identificar o estado da arte e evidenciar as lacunas de pesquisa sobre ruídos resultantes do uso dos sistemas prediais hidrossanitários, com vistas a contribuir para um melhor entendimento do desempenho acústico correlacionado aos usos, buscando aumentar o conforto e o bem-estar dos usuários de edificações residenciais. A partir da metodologia de pesquisa empregada, poucos artigos foram obtidos nas bases indexadas, e nenhum deles foi de origem brasileira. Entretanto, em pesquisa exploratória anterior, foram observados artigos em congressos, tanto nacionais quanto internacionais.

Os ruídos hidrossanitários possuem características particulares como alta frequência, com níveis de pressão sonora que aumentam com a frequência, desta maneira, no caso dos edifícios altos, devido à maior pressão no sistema de água fria, os ruídos hidrossanitários são maiores. Outra particularidade, é que trazem informações íntimas dos usuários e, muitas vezes, o ruído não pode ser controlado pelo usuário. Os efeitos dos ruídos são percebidos pelos dois hemisférios do cérebro ao mesmo tempo, dependendo de como são percebidos pelo usuário podem impactar na saúde ou na realização das atividades diárias. A maioria dos estudos da área adota metodologias normativas para avaliação acústica. A revisão permitiu identificar os métodos de medição empregados na avaliação dos ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários, bem como as soluções propostas para aprimorar o desempenho acústico, tanto no âmbito nacional quanto internacional.

Contudo, o atendimento aos critérios normativos não garante, necessariamente, o conforto acústico ou a ausência de incômodos aos usuários. Isso se deve ao fato de que a reação ao ruído depende de características objetivas do ruído, como intensidade e frequência, e de fatores subjetivos como a sensibilidade ao ruído e a situação de exposição, assim, a avaliação do incômodo deve considerar o nível de pressão sonora e como o cérebro humano percebe as variações do som.

Os resultados contribuem para a identificação de problemáticas associadas ao controle de ruído em edificações como o pouco conhecimento sobre acústica no mercado da construção civil, pouca divulgação de dados de medições, custo potencialmente mais elevado de algumas soluções, podendo ser devido à superestimativa das soluções acústicas devido à falta de dados, e a necessidade de disseminar e viabilizar o uso de dispositivos, componentes e materiais com melhor desempenho acústico. Dentre as principais soluções para controle de ruído proveniente de sistemas prediais hidrossanitários observadas nas publicações, destacamos: desconectar as tubulações, interrompendo o contato direto entre elas e a superfície do edifício, impedindo as vibrações; utilizar isolamento acústico nas tubulações; utilizar tubulações de esgoto com baixa emissão de ruído e materiais com maior amortecimento interno.

Investigações sobre as lacunas descritas neste estudo podem subsidiar a criação de métodos mais precisos e eficientes para o controle de ruídos gerados por sistemas prediais hidrossanitários, contribuindo diretamente para o conforto acústico nas edificações. Para estudos futuros, recomenda-se investigar o incômodo gerado por ruídos em frequências específicas; caracterizar os fatores temporais e espaciais, além do nível de pressão sonora por frequência; estudar as incertezas e simplificações numéricas; e, desenvolver técnicas de simulações mais precisas que incorporem variáveis mais representativas de situações práticas.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- _____. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e Execução. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020a.
- _____. **NBR 15575-6**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 6: Sistemas Hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2021.
- _____. **NBR 10052**: Acústica — Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais — Método simplificado. Rio de Janeiro, 2022a.
- _____. **NBR 10152**: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos à edificações. Rio de Janeiro, 2022b.
- _____. **NBR ISO 12354-1**: Acústica de edificações — Estimativa do desempenho acústico nas edificações por meio do desempenho de elementos – Parte 1: Isolamento a ruído aéreo entre ambientes. Rio de Janeiro, 2023.
- _____. **NBR ISO 16032**: Acústica - medição de nível de pressão sonora de equipamentos prediais de edificações - Método de Engenharia. Rio de Janeiro, 2024.
- AMANCO-WAVIN. **Ficha Técnica Esgoto Silentium**, 2024. Disponível em: https://mediahub.wavin.com/m/36bfd4f2b82d83de/original/FT-Esgoto-Silentium.pdf?_gl=1*1dp3kiy*_ga*OTI4MjU1NzA4LjE3MzM0MTkwMTU.*_ga_K6JQ2GQFCT*MTczMzQxOTAxNS4xLjEuMTczMzQyMDk2NS4wLjAuMA. Acesso em: 03 dez. 2024.
- ANDARGIE, M. S.; TOUCHIE, M.; O'BRIEN, W. A survey of factors that impact noise exposure and acoustics comfort in multi-unit residential buildings. **Canadian Acoustics**, v. 48, n. 3, p. 25-42, 2020. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/3389>. Acesso em: 20 out. 2024.
- ASFAMAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MATERIAIS PARA SANEAMENTO; TESIS – TECNOLOGIA E QUALIDADE DE SISTEMAS EM ENGENHARIA. Estudo que avalia a possibilidade de redução do volume de água utilizados nas descargas das bacias sanitárias comercializadas no Brasil. **Relatório Técnico 1287/RT001**. 2016. Disponível em: <http://www.asfamas.org.br/datafiles/uploads/relatorio-tecnico-estudo-que-avaliou-a-possibilidade-de-reduzir-o-consumo-de-agua.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2024.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Inc. Chapter 48. Noise and vibration. *In* ASHRAE Handbook; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2024.
- ASPE – AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS. **Plumbing Engineering Design Handbook**, Volume 1: Fundamentals of Plumbing Engineering, Chapter 10: Acoustic in

Plumbing. 2021. Disponível em: <https://aspe.org/product/plumbing-engineer-design-handbook-vol-1-2021/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BENJAMIN, Danglot, OSCAR, Vera-Perez, ZHONGXING, Yu, ANDY Zaidman, MARTIN Monperrus, BENOIT Baudry. A snowballing literature study on test amplification, **Journal of Systems and Software**, v. 157, n. 110398, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110398>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121219301736>. Acesso em: 01 dez. 2024.

BISTAFA, S. R. Conscientização para o problema do ruído nas instalações hidráulicas prediais. **Revista de Acústica e Vibrações**. [S. l.], v. 6, n. 09, p. 5–17, 1991. DOI: 10.55753/aev.v6e09.73.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2018, 436p. ISBN 978-85-212-1283-6.

BLEICHVEL, N. C. T.; KALBUSCH, A.; IAFIGLIOLA, L. G. Desempenho de sistemas prediais: avaliação de ruído em edifícios residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

BOCKORNI, Beatriz Rodrigues Silva; GOMES, Almiralva Ferraz. A amostragem em *snowball* (bola de neve) em uma pesquisa qualitativa no campo da administração. **Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR**, [S. l.], v. 22, n. 1, 2021. DOI: 10.25110/receu.v22i1.8346. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/empresarial/article/view/8346>. Acesso em: 3 dez. 2024.

BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8233**: Guidance on sound insulation and noise reduction for buildings, London: BSI, 2014. Disponível em: <https://knowledge.bsigroup.com/products/guidance-on-sound-insulation-and-noise-reduction-for-buildings/standard>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CANIATO, M.; BETTARELLO, F.; SCHMID, C.; FAUSTI, P. The use of numerical models on service equipment noise prediction in heavyweight and lightweight timber buildings. **Building Acoustics**, Thousand Oaks, Califórnia, EUA, v. 26, n. 1, p. 35-55, 2019. DOI 10.1177/1351010X18794523. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1351010X18794523>. Acesso em: 24 set. 2024.

CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 817:2008**: Sanitary tapware – Mechanical mixing valves (PN 10) – General technical specifications. Brussels: CEN, 2008.

_____. **EN 14366**: Laboratory measurement of airborne and structure-borne sound from service equipment — Part 1: Application rules for wastewater installations. Brussels: CEN, 2023.

_____. **EN 817:2024**: Sanitarne armature - Mehanski mešalni ventili (PN 10) - Splošne tehnične zahteve. Brussels: European Committee for Standardization, 2024. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69903/c8776737bd7944249fd388bfefa787cf/SIST-EN-817-2024.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.

- DEMIREL, F. Noise caused by the usage of water piping in apartment building structures. **Building and Environment**, Amsterdã, v. 41, n. 4, p. 512 – 519, 2006. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.03.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305001198>. Acesso em: 24 set. 2024.
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **EN 4109-1:2018**: DE - Schallschutz im Hochbau. Teil 1: Mindestanforderungen. Protection acoustic dans le bâtiment – Partie 1: Exigences minimales. Berlin: 2018, 30p. Disponível em: https://www.muehlenbecker-land.de/fileadmin/Dateien/Dateien/Bauen___Wohnen/Bauleitplanung_43/DIN/DIN_4109-1.pdf. Acesso em: 18 nov. 2024.
- _____. **EN 14366-1:2023**: Bauakustik - Messung von Luftschall und Körperschall von gebäudetechnischen Anlagen im Prüfstand - Teil 1: Anwendungsregeln für Abwasserinstallationen; Deutsche Fassung, 2023. Disponível em: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nmp/veroeffentlichungen/wd-c-beuth:din21:369764687>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- EICHLER, B. C.; COELHO, F. C.; ROCHA, D. G.; ROCHA, R. R. Desempenho acústico de isolamento a ruído aéreo de lajes em banheiros: comparativo entre resultados previsionais pela ISO 12354-1:2017 e ensaios in loco pela ABNT NBR ISO 10052:2022. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, SOBRAC, 30, 2023, Natal. **Anais [...]**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023, p.433-441. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sobracnatal2023/667042-DESEMPENHO-ACUSTICO-DE-ISOLAMENTO-A-RUIDO-AEREO-DE-LAJES-EM-BANHEIROS--COMPARATIVO-ENTRE-RESULTADOS-PREVISIONAIS->. Acesso em: 03 mar. 2024.
- FUCHS, H. V. Generation and control of noise in water supply installations: Part 1: Fundamental aspects. **Applied Acoustics**, v.16, n.5, p. 325-346, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-682x\(83\)90025-7](https://doi.org/10.1016/0003-682x(83)90025-7). Acesso em: 24 nov. 2024.
- _____. Generation and control of noise in water supply installations. Part 2: Sound source mechanisms, **Applied Acoustics**, v.38, n.1, 1993, p. 59 – 85, 1993. Doi:10.1016/0003-682x(93)90041-4.
- GIBBS, B. M.; VILLOT, M. Structure-borne sound in buildings: Advances in measurement and prediction methods. **Noise Control Engineering Journal**, Estados Unidos, v. 68, n.1, p. 1-30, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3397/1/37681>. Acesso em 24 set.2024.
- GOYDKE, H. New international standards for building and room acoustics. **Applied Acoustics**, Amsterdã, v. 52, n. 3, p.185-196, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(97\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(97)00045-5). Acesso em: 24 set. 2024.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-5:2017**: Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 5: Sound levels due to the service equipment. Genebra: ISO, 2017.
- _____. **ISO 3822-1:2021**: Acoustics — Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations - Method of measurement, Genebra:

ISO, 2021a. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/22121.html>. Acesso em: 20 nov. 2024.

_____. **ISO 10052:2021**: Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method, Genebra: ISO, 2021b. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10052:ed-2:v1:en>. Acesso em: 20 nov.2024.

_____. **ISO/TS 19488:2021**: Acoustics – Acoustic classification of dwellings. Genebra: ISO, 2021c. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/77742.html>. Acesso em: 24 nov. 2024.

JEON, J. Y.; JO, H. I.; KIM, S. M; YANG, H. S. Subjective and objective evaluation of water-supply and drainage noises in apartment buildings by using a head-mounted display. **Applied Acoustics**, Amsterdã, v. 148, p. 289-299, Jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.12.037>. Acesso em: 24 set. 2024.

JEON, J. Y.; RYU, J. K.; LEE, P. J. A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings. **Applied Acoustics**, Reino Unido, v. 71, n.10, p. 914-921, Jun 2010. DOI 10.1016/j.apacoust.2010.06.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.06.001>. Acesso em: 27 set. 2024.

KITAMURA, T., SATO, S., SHIMOKURA, R., ANDO, Y. Measurement of temporal and spatial factors of a flushing toilet noise in a downstairs bedroom, **Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment**, v.2, n.1, p.13–19, 2002.Disponível em: http://www.jtdweb.org/journal/2002/002_kitamura.pdf. Acesso em: 27 set.2024.

KOREA, Ministry of Environment of South Korea, **Green Standard for Energy and Environmental Design** (G-SEED). Seoul: Ministry of Environment, 2016.

KS – KOREAN STANDARDS ASSOCIATION. **KS F 2870**: Standard test method of water supply noise in apartment bathroom; Korea Standard Association (KS): Seoul, Korea, 2021a.

_____. **KS F 2871**: Standard test method of drainage noise in apartment bathroom; Korea Standard Association (KS): Seoul, Korea, 2021b.

_____. **KS F 2872**: Evaluation of Noise from Water Supply and Drainage Systems in Apartment Bathrooms; Korea Standard Association (KS): Seoul, Korea, 2023.

MIROWSKA, M. Problems of Measurement and Evaluation of Low-Frequency Noise in Residential Buildings in the Light of Recommendations and the New European Standards. **Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 203 – 208, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1260/1475473054479901>.

NASCIMENTO, N. L. F.; CURADO, F. C. C; SALES, G. O.; ROCHA, D. G. Avaliação acústica de Sistemas Prediais e Hidrossanitárias Conforme Normas NBR 10152:2017 E NBR 15575:2021. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 30, 2023. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2023. DOI: 10.29327/sobracnata2023.667120. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sobracnata2023/667120-AVALIACAO-ACUSTICA-DE-SISTEMAS-PREDIAIS-E-HIDROSSANITARIAS-CONFORME-NORMAS-NBR-10152-2017-E-NBR-15575-2021>. Acesso em: 03 mar. 2024.

- O'NEIL, C. Providing 'good', 'better' or 'best' acoustical plumbing system proposals for cost-sensitive clients. **Canadian Acoustics**, Canadá, v. 38, n.4, p. 43-45, Dez, 2010. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2322>. Acesso em: 27 set. 2024.
- PAVANELLO, L. R.; PAIXAO, D. X.; LUNGE, A. P. Ruído em instalações hidrossanitárias: o desafio em realizar medições. *In*: ENCONTRO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 25., 2014, Campinas. **Anais [...]**. Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 2014.
- PETERSEN, K.; VAKKALANKA S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and Software Technology**. v. 64, p. 1-18, 2015. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>.
- ROCHA, R. R.; GINER, J. C.; PRADO, R. T. A. Análise e caracterização de soluções acústicas para mitigar os ruídos oriundos de instalações hidrossanitárias prediais. *In*: ENCONTRO DA SOBRAC, 28., 2018, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: 2018, p.10.
- ROMEY, J.; JIMÉNEZ, S.; CAPDEVILA, R. Noise emitted by water supply installations, **Applied. Acoustics**. v. 65, n.4 p.401– 419, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2003.10.001>. Acesso em: 28 set. 2024.
- ROSSI, C.; LOURENÇO, W. M.; SANTOS, E. H. L.; MELLER, G.; TOCHETTO, J. L. D.; SANTOS, J. C. P. Análise do comportamento acústico de sala por tempo de reverberação de Sabine e Eyring. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 10, 2018, Universidade Federal de Pampa, **Anais [...]**, Santana do Livramento, 2018, p.6.
- RUSTUM, R.; EMMANUEL, A. C. The effects of noise from internal drainage systems on daily human activity and sleep patterns. **International Journal of Geomate**, Japan, v. 25, n.108, p.249-256, Ago, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21660/2023.108.s8581>. Acesso em: 28 set. 2024.
- RYU, J.; SONG, H. Comparison between single-number quantities for rating noises from sanitary installations in residential buildings by objective and subjective methods. **Building and Environment**, v. 164, n. 106378, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106378>. Acesso em: 28 set. 2024.
- SCHWARTZ, S. Linking noise and vibration to sick building syndrome in office buildings. **Air and Waste Management**, p. 26-28, Mar. 2008. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-42449111971&origin=inward&txGid=f4f49feb364afcf2d889ef368b1809e1>. Acesso em: 28 set. 2024.
- TIGRE BRASIL. Ficha Técnica. **Linha esgoto Tigre Redux**. 2024, 149 p. Disponível em: <https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-tecnica/ficha-tecnica-linha-Tigre-Redux.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2024.
- WANG, Y.; DENG, X.; CHI, B.; CUI, Y. Study on the Impact of Drainage Noise in Residential Bathrooms Based on Finite Element Simulation. **Archives of Acoustics**, Polônia, v. 49, n. 3, p. 399-417, 2024. Doi: 10.24425/aoa.2024.148799. Disponível em: <https://acoustics.ippt.pan.pl/index.php/aa/article/view/3870>. Acesso em: 10 out. 2024.

WASSILIEFF, C.; DRAVITZKI, V. Prediction of Noise from Plumbing Attached to Light Timber-Framed Walls. **Applied Acoustics**, Amsterdã, v. 37, p. 213-232, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(92\)90004-C](https://doi.org/10.1016/0003-682X(92)90004-C). Acesso em: 10 out. 2024.

YANG, H. S.; CHO, H. M.; KIM, M. J. Field. Measurements of Water Supply and Drainage Noise in the Bathrooms of Korea's Multi-Residential Buildings. **Applied Sciences**, v. 6, n.372, 2016. Doi:10.3390/app6110372. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/applsci>. Acesso em: 10 out. 2024.