



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE PALMAS-TO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAIO GONÇALVES BALIZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO
EM UMA EDIFICAÇÃO DE ALVENARIA
ESTRUTURAL LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PALMAS/TO - Estudo aplicado**

Palmas/TO
2021

CAIO GONÇALVES BALIZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO
EM UMA EDIFICAÇÃO DE ALVENARIA
ESTRUTURAL LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PALMAS/TO - Estudo aplicado**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Tocantins como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo.

Palmas/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

B186a Baliza, Caio Gonçalves.

Análise do desempenho térmico e acústico de uma edificação de alvenaria estrutural no município de Palmas/TO: Estudo aplicado. / Caio Gonçalves Baliza. – Palmas, TO, 2021.

70 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2021.

Orientadora : Orieta Soto Izquierdo

1. Norma de desempenho. 2. Conforto térmico. 3. Conforto acústico. 4. Alvenaria estrutural. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

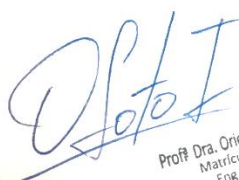
CAIO GONÇALVES BALIZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO
EM UMA EDIFICAÇÃO DE ALVENARIA
ESTRUTURAL LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PALMAS/TO – Estudo aplicado**

Monografia apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas/TO, Curso de Engenharia Civil, foi avaliada para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 18 / 10 / 2021

Banca examinadora:



Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo
Matrícula: 2226645
Eng. Civil / UFT

Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo, UFT



Mariela C. A. de Oliveira
UFT - Palmas
Mat. 13436414

Prof. Dra. Mariela Cristina Ayres de Oliveira, UFT



Prof. Dra. Elen Oliveira Vianna, IFTO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos.

À minha família, por terem prestado todo apoio necessário durante a minha graduação, me aconselhando sempre que precisei e por nunca ter me deixado desistir, além de toda a assistência oferecida durante o trabalho.

À minha orientadora, Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo, por todas as correções e auxílio prestados durante a execução deste trabalho.

À Prof. Dra. Mariela Cristina Ayres de Oliveira, componente da banca examinadora, por ter prontamente emprestado o equipamento necessário para realizar os ensaios de desempenho térmico, além de toda a contribuição na execução deste trabalho.

À Prof. Dra. Indara Soto Izquierdo, por compor a banca examinadora do projeto de pesquisa e contribuir com sugestões fundamentais para o aprimoramento do trabalho.

À Prof. Dra. Elen Oliveira Vianna, por aceitar compor a banca examinadora da monografia e contribuir nessa etapa tão importante da minha jornada acadêmica.

À construtora responsável pelo imóvel utilizado na pesquisa, por ter permitido a realização dos ensaios no empreendimento.

À Privilege Music Palmas, na pessoa do Danilo, que gentilmente cedeu o equipamento necessário para análise de desempenho acústico.

A todos os meus amigos que de alguma forma me apoiaram.

“Se o construtor constrói para alguém e não o faz solidamente e a casa que ele construiu cai e fere de morte o proprietário, esse construtor deverá ser morto.”

(Código de Hamurabi)

RESUMO

O conceito de desempenho é de suma importância quando se trata do atendimento às exigências do usuário na construção civil. Isso porque uma edificação com desempenho satisfatório é aquela que cumpre os objetivos e requisitos mínimos para os quais ela foi projetada. Por isso, preocupar-se com o desempenho no momento em que se projeta uma edificação é pensar primordialmente no bem-estar dos habitantes. Dessa forma, o conforto termoacústico de um imóvel capaz de atingir os requisitos mínimos de desempenho contribui significativamente na satisfação do proprietário, trazendo benefícios inclusive para sua saúde física e mental. Diante desse contexto, a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 foi elaborada na tentativa de estabelecer critérios mínimos de desempenho que as edificações devem atender, visando proporcionar mais segurança, conforto e economia ao usuário, além de ser um importante meio para mensurar o nível de desempenho que a edificação é capaz de atingir. No presente trabalho, buscou-se analisar o conforto termoacústico de uma edificação construída em alvenaria estrutural com a utilização de blocos cerâmicos em Palmas/TO. O resultado obtido do estudo foi que a edificação não apresentou o desempenho mínimo exigido pela norma em nenhum dos dois critérios analisados. Quanto ao conforto térmico, a temperatura interna máxima no dia da verificação foi 33,4 °C enquanto a temperatura externa máxima foi de 33,0 °C. Para o conforto acústico, o $D_{nT,w}$ medido foi de 40 dB ao passo que a norma de desempenho determina que seja no mínimo 45 dB para a situação analisada. Conclui-se, portanto, que há a necessidade de se buscar meios para melhorar o desempenho e o conforto das edificações de forma geral, dedicando maior atenção para tal situação no momento da concepção do imóvel.

Palavras-chave: Desempenho. Conforto térmico. Conforto acústico. Alvenaria estrutural.

ABSTRACT

The concept of performance is of paramount importance when it comes to meeting user requirements in civil construction. This is because a building with satisfactory performance is one that meets the objectives and minimum requirements for which it was designed. Therefore, worrying about performance when designing a building is primarily to think about the well-being of the inhabitants. Thus, the thermo-acoustic comfort of a property capable of meeting the minimum performance requirements significantly contributes to the owner's satisfaction, bringing benefits even for their physical and mental health. In this context, the ABNT NBR 15575:2013 performance standard was developed in an attempt to establish minimum performance criteria that buildings must meet, aiming to provide more safety, comfort and economy to the user, in addition to being an important means to measure the level of performance that the building is capable of achieving. In the present work, we sought to analyze the thermo-acoustic comfort of a building built in structural masonry with the use of ceramic blocks in Palmas/TO. The result obtained from the study was that the building did not present the minimum performance required by the standard in any of the two criteria analyzed. As for thermal comfort, the maximum internal temperature on the day of verification was 33.4 °C while the maximum external temperature was 33.0 °C. For acoustic comfort, the measured $D_{nT,w}$ was 40 dB, while the performance standard determines it to be at least 45 dB for the situation analyzed. It is concluded, therefore, that there is a need to seek ways to improve the performance and comfort of buildings in general, dedicating greater attention to this situation at the time of designing the property.

Keywords: Performance. Thermal comfort. Acoustic comfort. Structural masonry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Pirâmides de Gizé.....	32
Figura 02 - Muralha da China.....	32
Figura 03 - Coliseu Romano.....	32
Figura 04 - Taj Mahal.....	32
Figura 05 - Conjunto Habitacional Central Parque.....	33
Figura 06 - Blocos cerâmicos.....	34
Figura 07 - Blocos de concreto.....	34
Figura 08 - Blocos sílico-calcários.....	34
Figura 09 - Armaduras verticais.....	36
Figura 10 - Armaduras horizontais.....	36
Figura 11 - Planta baixa do apartamento.....	41
Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	42
Figura 13 – Localização do termômetro.....	43
Figura 14 – Termômetro instalado.....	43
Figura 15 – Termômetro Datalogger HMTGD-1800.....	44
Figura 16 - Caixa acústica JBL JS151A.....	46
Figura 17 – Sonômetro Phonic PAA6.....	47
Figura 18 – Ambiente emissor.....	48
Figura 19 – Posicionamento dos equipamentos para ensaio de desempenho acústico.....	49
Figura 20 – Temperatura do ar no dia 28/09/2021.....	55
Figura 21 – Curvas de DnT de referência, deslocado e medido.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Exigências dos usuários segundo a ABNT NBR 15575:2013.....	18
Tabela 02 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	23
Tabela 03 - Transmitância térmica de paredes externas.....	24
Tabela 04 - Capacidade térmica de paredes externas.....	24
Tabela 05 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	24
Tabela 06 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, DnT,w , para ensaio de campo.....	29
Tabela 07 - Custos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural no Brasil.....	37
Tabela 08 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	45
Tabela 09 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	45
Tabela 10 – Valores de referência para isolamento do ruído aéreo.....	51
Tabela 11 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, DnT,w , entre ambientes para sistema de vedação.....	52
Tabela 12 – Valores máximos e mínimos de temperatura externa para os dias analisados.....	54
Tabela 13 – Histórico de temperatura interna no dia 28/09/2021.....	55
Tabela 14 – Parâmetros de desempenho acústico calculados.....	57
Tabela 15 – Dados de DnT de referência, deslocado e medido e os desvios.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
D	Diferença de nível
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância
dB	Decibéis
DnT	Diferença de nível padronizada
DnT,w	Diferença padronizada de nível ponderada
Hz	Hertz
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	International Organization for Standardization
L	Nível de pressão sonora médio
LABMET	Laboratório de Meteorologia e Climatologia
NBR	Norma Brasileira
SONDA	Sistema Nacional de Organização dos Dados
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema de pesquisa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Desempenho	16
2.2	Norma de desempenho em edificações – ABNT NBR 15575:2013	17
2.2.1	Histórico	17
2.2.2	Estrutura	17
2.2.3	Incumbências dos intervenientes	19
2.2.4	Importância da norma ABNT NBR 15575: 2013	20
2.2.5	Emenda na norma de desempenho	20
2.3	Conforto térmico	22
2.3.1	Procedimento simplificado (teórico)	24
2.3.2	Simulação Computacional	27
2.3.3	Medição <i>in loco</i>	27
2.4	Conforto acústico	27
2.4.1	Método de precisão	30
2.4.2	Método de engenharia	30
2.4.3	Método simplificado	31
2.5	Alvenaria estrutural	31
2.5.1	Histórico	31
2.5.2	Materiais	33
2.5.2.1	Unidades	33
2.5.2.2	Argamassa	34
2.5.2.3	Graute	35
2.5.2.4	Armadura	36
2.5.3	Tipos de alvenaria	36
2.5.4	Características da alvenaria estrutural	37
2.5.4.1	Vantagens da alvenaria estrutural	37

2.5.4.2	Desvantagens da alvenaria estrutural	38
2.6	Trabalhos relacionados com o tema	38
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Descrição da edificação estudada.....	40
3.2	Conforto térmico.....	41
3.3	Conforto acústico.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	Desempenho térmico	54
4.2	Desempenho acústico.....	56
5	CONCLUSÃO.....	60
5.1	Limitações da pesquisa.....	61
5.2	Sugestões para pesquisas futuras	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
	APÊNDICE A – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NO AMBIENTE EMISSOR.....	66
	APÊNDICE B - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NO AMBIENTE RECEPTOR.....	67
	APÊNDICE C - MEMORIAL DE CÁLCULO DO DnT	68
	ANEXO A – HISTÓRICO DE TEMPERATURA AMBIENTE EM PALMAS/TO.....	70

1 INTRODUÇÃO

Um dos sistemas construtivos mais antigos da humanidade é a alvenaria estrutural, tendo sua origem ainda na Pré-História. Desde então ela tem passado por evoluções significativas até chegar no método construtivo conhecido atualmente. Dessa forma, a alvenaria estrutural tornou-se um econômico e competitivo sistema com diversas possibilidades de utilização (CAVALHEIRO, 2013).

Como defende Araújo (1995), a grande vantagem da alvenaria estrutural é a facilidade de racionalização, produtividade e qualidade, com bom desempenho tecnológico e baixos custos. Portanto, as construtoras e os agentes financiadores tem demonstrado cada vez mais interesse pelo sistema construtivo devido às grandes vantagens encontradas, especialmente às relacionadas ao baixo custo (POZZOBON, 2003).

Após a destruição ocasionada pela Segunda Guerra Mundial, alguns países europeus se viam na necessidade de traçar um plano de recuperação e reconstrução das cidades para que assim houvesse a retomada do desenvolvimento. Entretanto, como a reconstrução precisava ser rápida, as técnicas deveriam ser otimizadas para que o aumento da velocidade de construção não afetasse significativamente o desempenho.

Diante dessa necessidade, em 1953 foi fundado o CIB (Conseil International du Bâtiment), também conhecido como “Conselho Internacional de Construção”. Seu objetivo era reunir instituições e pesquisadores de todo o mundo na área de construção, promovendo o intercâmbio em pesquisa e desenvolvimento. Este foi o marco de um dos primeiros movimentos voltados para a consolidação da busca pela qualidade no setor da construção civil (CORDOVIL, 2013).

O surgimento da ABNT NBR 15575:2013, anos depois, foi de suma importância para a construção civil porque trouxe critérios claros de desempenho que as edificações devem atender, levando em consideração, sobretudo, o usuário final. Isso significa que os requisitos por ela proposto devem ser atendidos considerando as condições reais de uso, a despeito de considerações fundamentalmente voltadas para a realização de ensaios tecnológicos e recomendações de boas práticas (CORRÊA, 2018).

Ademais, essa norma não tem caráter prescritivo, ou seja, ela não fixa a qualidade dos materiais ou métodos construtivos a serem utilizados. Em vista disso, ela apenas fixa parâmetros para o desempenho global sem dizer como alcançá-lo (LAGE, 2020). Dessa forma, a norma é considerada como complementar às normas prescritivas, sem substituí-las. A

utilização simultânea delas visa atender às exigências do usuário com soluções tecnicamente adequadas (ABNT NBR 15575:2013).

Portanto, por meio da ABNT NBR 15575:2013, o resultado final da qualidade das edificações recebe mais atenção do que os materiais que as compõem e os procedimentos construtivos utilizados. Com base nisso, no presente trabalho buscou-se avaliar, por meio de um estudo aplicado, o atendimento à essa norma em uma edificação construída em alvenaria estrutural na cidade de Palmas/TO. Para isso, foram considerados como critérios o desempenho térmico e acústico.

1.1 Problema de pesquisa

Uma edificação construída em alvenaria estrutural na cidade de Palmas/TO está corretamente relacionada aos padrões da norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 quanto ao conforto térmico e acústico?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o atendimento dos parâmetros mínimos para o desempenho termoacústico em um empreendimento em alvenaria estrutural na cidade de Palmas/TO de acordo com norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar, por meio de ensaios normatizados, se o empreendimento cumpre com os requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 15575:2013 quanto ao desempenho térmico;
- Verificar, por meio de ensaios normatizados, se o empreendimento cumpre com os requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 15575:2013 quanto ao desempenho acústico;

1.3 Justificativa

A ABNT NBR 15575:2013 foi criada com o propósito de determinar o desempenho mínimo que uma edificação deve atender levando sempre em consideração as necessidades e o conforto do usuário. Para isso, a referida norma define requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação como forma de estabelecer o desempenho da edificação, tendo sempre a preocupação de permitir a mensuração clara do seu cumprimento. Dessa forma, a norma de desempenho ajuda a contribuir para o aumento da qualidade final da edificação entregue ao usuário, independentemente dos materiais e dos métodos empregados.

Diante da tendência de mudanças climáticas apontando para dias mais quentes e das altas temperaturas características da cidade de Palmas no estado do Tocantins, a arquitetura possui o relevante papel de ajudar a minimizar as temperaturas internas dos ambientes. Edificações que possuem conforto térmico adequados tendem a diminuir a necessidade de utilização de sistemas de condicionamento de ar, diminuindo também o consumo de energia elétrica e conseqüentemente amenizam os impactos ambientais. Além disso, para as pessoas que trabalham em casa - situação cada vez mais comum – ambientes com temperaturas adequadas ajudam a manter um bom rendimento nas atividades desempenhadas.

O conforto acústico está diretamente relacionado com o bem-estar dos usuários de uma edificação, de maneira que ambientes excessivamente ruidosos interferem negativamente em atividades diárias como dormir, estudar ou trabalhar. Dessa forma, edificações com conforto acústico inapropriado podem causar estresse, distúrbios de sono e dificuldade na realização de tarefas. Portanto, o estudo de desempenho termoacústico em edificações é de grande relevância, visto que interfere diretamente na qualidade de vida dos usuários e no conforto das habitações.

A despeito da alvenaria estrutural ser mais antiga, o concreto armado é o método construtivo mais popular no Brasil e no mundo devido ao maior estudo e constante aprimoramento existente nessa área. Contudo, por ser uma cidade ainda jovem, o setor imobiliário em Palmas/TO vem passando por um crescimento vertiginoso nos últimos anos. Com isso, em busca de incentivo econômico principalmente, a alvenaria estrutural tem ganhado cada vez mais espaço na capital mais jovem do país, tornando necessário estudos em edificações construídas com essa metodologia.

Por esta razão, este trabalho tem como premissa fundamental analisar por meio de ensaios em uma edificação de alvenaria estrutural, construída com blocos cerâmicos, se ela atende aos requisitos mínimos exigidos pela norma de desempenho, a ABNT NBR 15575:2013, quanto ao conforto térmico e acústico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As normas técnicas de desempenho são muito importantes pois servem como parâmetro para que as edificações atendam adequadamente seus usuários no que diz respeito à segurança e conforto. Neste capítulo serão apresentados conceitos relacionados a desempenho, seu histórico, estrutura da ABNT NBR 15575:2013, a forma como ela aborda os itens que serão estudados, bem como algumas características da alvenaria estrutural, recurso construtivo muito utilizado em Palmas/TO.

2.1 Desempenho

A primeira norma de construção registrada na história que apresentou o conceito de desempenho foi do Rei Hamurabi, que reinou na Babilônia entre os anos de 1955 e 1913 a.C. Embora ela não fosse assim classificada, tratava de desempenho de forma intrínseca, pois contava com um requisito de desempenho quanto à segurança estrutural (BALDASSO, 2009 apud ARENDT, 2015).

Está escrito nos Artigos 229 e 230 do Código Hamurabi:

Artigo 229 - Se o construtor constrói para alguém e não o faz solidamente e a casa que ele construiu cai e fere de morte o proprietário, esse construtor deverá ser morto.

Artigo 230 - Se fere de morte o filho do proprietário, deverá ser morto o filho do construtor.

Segundo Borges (2008), a definição de desempenho mais aceita pelo meio acadêmico é a elaborada por Gibson em 1982, que afirma que a abordagem de desempenho é, acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios, com os requisitos que a construção deve atender, e não com a forma como essa deve ser construída.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define desempenho como “Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas.” e define norma de desempenho como “Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes.” (ABNT NBR 15575-1:2013).

Portanto, bom desempenho de uma edificação são determinadas características que um edifício deve apresentar que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso (BORGES, 2008). É neste ponto que a ABNT NBR 15575:2013 se torna importante para criar uma base e

esclarecer diversos critérios que vigoram sobre as condições de desempenho que se deve seguir na construção civil, dentro de edificações habitacionais (NEVES, 2015).

De acordo com Rauber (2005), na alvenaria estrutural, pelo fato de desempenhar função estrutural, além de diversas outras como isolamento térmico e acústico, a consideração de seu desempenho é fundamental, devendo ocorrer a partir de uma visão integrada da construção. Apesar disso, como defendem Freitas e Lourenzo (2016), embora existam requisitos mínimos de conforto, a experiência brasileira mostra uma série de patologias e acidentes ocasionados pela falta de cumprimento desses critérios. A causa geralmente é a busca de redução de custos e conseqüentemente o uso de materiais e métodos de baixa qualidade.

2.2 Norma de desempenho em edificações – ABNT NBR 15575:2013

2.2.1 Histórico

A ABNT NBR 15575:2013 foi emitida pela primeira vez em maio de 2008, sendo prevista sua exigibilidade em 2010, e em sua primeira versão sua aplicação era restrita a edifícios de até cinco pavimentos. Porém, conforme matéria divulgada pelo portal da revista *Téchne* (apud CORDOVIL, 2013), as empresas do setor foram reativas à sua adoção por não estarem preparadas para atender aos requisitos impostos.

O prazo para sua publicação foi estendido, e durante esse período foram realizadas atualizações na norma e os fabricantes puderam adequar seus produtos. Uma das alterações é que a norma não se limitaria a edifícios de até cinco pavimentos para itens que não dependem da altura. A versão final foi publicada em 19 de fevereiro de 2013 e entrou em vigor em julho do mesmo ano. A ABNT NBR 15575:2013 é então considerada um marco para a sociedade e o mercado habitacional brasileiro (GONÇALVES, 2014).

2.2.2 Estrutura

A ABNT NBR 15575:2013 é um conjunto normativo dividido em 6 partes:

- a) Parte 1: Requisitos gerais;
- b) Parte 2: Sistemas estruturais;
- c) Parte 3: Sistemas de pisos;
- d) Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas;

- e) Parte 5: Sistemas de coberturas;
- f) Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

Todas as partes da norma não se aplicam a obras em andamento ou concluídas até a data de entrada em vigor, nem obras de reformas, nem de “retrofit”, nem edificações provisórias. Para a o estudo em questão, na análise de desempenho térmico é utilizada a parte 1 (requisitos gerais), que define a metodologia adotada e os requisitos mínimos de desempenho térmico. A parte 4 (sistemas de vedações verticais internas e externas) é utilizada na análise do desempenho acústico. Nela está descrita a metodologia adotada, bem como os níveis de desempenho acústico que devem ser atendidos.

Nos casos de outras normas que tratam sobre o mesmo tema da norma de desempenho, elas deverão ser consideradas como complementares, sem substituí-las. Por outro lado, quando estas forem conflituosas ou apresentarem diferenças de critérios e métodos, adota-se sempre a mais exigente (MORAIS, 2017).

Como mostrado na Tabela 01, a ABNT apresenta na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 uma lista geral de exigências dos usuários que são utilizadas como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios que, sendo atendidos, considera-se para todos os efeitos que estejam satisfeitas as exigências do usuário. No caso do presente trabalho, serão avaliadas exigências de habitabilidade, que são o desempenho térmico e acústico.

Tabela 01 - Exigências dos usuários segundo a ABNT NBR 15575:2013

Segurança	Estrutural Contra o fogo No uso e na operação
Habitabilidade	Estanqueidade Desempenho térmico Desempenho acústico Desempenho lumínico Saúde, higiene e qualidade do ar Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e antropodinâmico

Sustentabilidade	Durabilidade
	Manutenibilidade
	Impacto ambiental

Fonte: Autor

2.2.3 Incumbências dos intervenientes

Para que haja um adequado atendimento dos requisitos de desempenho, a norma classifica os agentes em: fornecedor, projetista, construtor, incorporador e usuário. Cada um deles possui incumbências distintas. São elas:

- a) **Fornecedor:** Caracteriza o desempenho de seus produtos de acordo com a norma. Aqueles que não possuem desempenho caracterizado devem fornecer resultados comprobatórios do desempenho com base na ABNT NBR 15575:2013 ou normas específicas;
- b) **Projetista:** Deve estabelecer a Vida Útil de Projeto (VUP) de cada sistema que compõe a Norma. Além disso, tem o papel de especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido na norma, bem como solicitar informações ao fabricante para balizar as decisões de especificação, quando não forem caracterizadas;
- c) **Incorporador:** Deve, juntamente com o projetista, identificar os riscos previsíveis na época do projeto, devendo o incorporador, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com as informações necessárias;
- d) **Construtor:** Deve elaborar o manual de operação uso e manutenção, ou documento similar, que deve ser entregue ao proprietário da unidade quando da disponibilização da edificação para uso, cabendo também elaborar o manual das áreas comuns, que deve ser entregue ao condomínio. Também pode ser atribuição do incorporador;
- e) **Usuário:** Deve realizar a manutenção, de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 5674:2012 e o manual de operação, uso e manutenção, ou documento similar.

2.2.4 Importância da norma ABNT NBR 15575: 2013

De acordo com Lins (2012), a norma fornece proteção ao construtor e ao consumidor em caso de eventual divergência, pois haverá parâmetros mínimos que a edificação deve atender e que poderão servir como referência. Caso o consumidor reclame, por exemplo, que a temperatura no interior da edificação esteja demasiadamente elevada considerando as condições climáticas do ambiente, a norma poderá ser utilizada para avaliar se a construção seguiu os padrões de desempenho. Dessa forma, o construtor estará assegurado se a edificação estiver adequada segundo a norma, ou o consumidor poderá reivindicar o direito de morar em uma residência termicamente adequada, em caso de descumprimento da norma de desempenho.

Contudo, apesar de sua importância, a aplicação prática da norma por todas as partes envolvidas não é uma tarefa fácil, pois, além de envolver questões técnicas, as exigências dos usuários, as quais a norma busca atender, são subjetivas, variáveis, crescentes e de difícil mensuração (BORGES, 2008). Segundo Dias (2009), a preocupação do homem concernente a seu bem-estar e conforto é proporcional à evolução da humanidade, ou seja, quanto mais evoluídas se tornam as pessoas, mais exigentes se tornam com relação ao seu conforto e bem estar.

Ademais, a ABNT NBR 15575:2013 coloca uma qualidade mínima das edificações brasileiras, que deverão ter desempenho satisfatório, além de classificar os níveis de desempenho em três categorias: nível mínimo necessário (M) e níveis opcionais para proporcionar maior conforto, sendo eles intermediário (I) e superior (S). Contudo, como destaca Souza (2016 *apud* CORRÊA, 2018), mesmo que os níveis intermediários e superiores sejam facultativos, eles podem ser desejáveis e vantajosos, posto que os empreendimentos que atendem a esses critérios tendem a ser privilegiados no mercado imobiliário.

2.2.5 Emenda na norma de desempenho

A ABNT NBR 15575:2013 passou por um processo de revisão no que se refere à análise de desempenho térmico, sendo publicada uma emenda no dia 30 de março de 2021, alterando as partes 1, 4 e 5 da norma. O objetivo da alteração foi superar algumas limitações técnicas observadas na versão de 2013 da norma.

Uma das alterações foi no método simplificado de análise do desempenho térmico, onde devem ser consideradas a capacitância térmica e a transmitância térmica do ambiente. Na nova emenda, além desses itens, deve ser considerado também o percentual de elementos

transparentes ou a área dos elementos transparentes, utilizando com referência, as áreas de piso. A proporção permitida para os elementos transparentes considera também a existência de sombreamento horizontal, o fator solar do vidro ou a etiqueta da esquadria. Além disso, a norma passa a considerar, mesmo que com caráter informativo, a degradação da absorvância à radiação solar, fator considerado no cálculo da transmitância térmica.

As demais atualizações relevantes da norma são referentes ao método da simulação computacional. Ao contrário da versão de 2013, em que eram considerados apenas dias típicos de inverno e de verão, a emenda passa a considerar simulações que adotam referências do ano inteiro. Também foram incluídas as cargas térmicas do ambiente na simulação – como lâmpadas, pessoas, ar condicionado – sendo que anteriormente eram considerados os ambientes vazios.

Outra alteração é que a avaliação considera duas condições de uso da edificação, com e sem ventilação natural, além de modelagem com janelas operáveis com trocas de ar obtidas a partir da velocidade e direção do vento fornecidas pelo arquivo climático, ao invés de uma taxa de renovação de ar fixa sem abertura das janelas.

Além dessas alterações, a análise da edificação deve ser feita comparando um modelo de edifício projetado e um modelo de referência, que consiste no mesmo edifício com características de referência. A emenda também estabelece novos parâmetros que devem ser avaliados no desempenho térmico, como o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT); temperatura operativa anual máxima e mínima da Unidade Habitacional (Tomax e Tomín); e carga térmica total (CgTT).

A norma determina que a emenda não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data, devendo, neste caso, ser utilizada a versão anterior da ABNT NBR 15575-1:2013.

Portanto, considerando que a emenda foi publicada no dia 30 de março de 2021, a obrigatoriedade de sua observância se dá apenas para obras protocoladas a partir de outubro de 2021. Dessa forma, não será necessário considerar a emenda na edificação estudada no presente trabalho, visto que ela foi protocolada anteriormente a essa data.

2.3 Conforto térmico

De acordo com a ISO 7730:1994, do ponto de vista pessoal, conforto térmico é definido como sendo uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista ambiental, o conforto térmico se dá quando as condições “permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem adicionados mecanismos termorreguladores”. A sensação de desconforto térmico pode acontecer quando a diferença entre o calor perdido para o ambiente e o calor produzido pelo corpo não é estável (LINS, 2012).

Para Silveira (2014), a noção do conforto térmico é diretamente relacionada à necessidade de manutenção da temperatura interna do corpo em valores razoavelmente constantes, por volta de 37°C – fator essencial à saúde e ao bem-estar. De acordo com ele, o balanço térmico do corpo humano é uma função dependente de variáveis ambientais – temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade relativa do ar – além de variáveis pessoais relacionadas com o tipo e grau de atividade e vestimentas.

Diante disso, pode-se afirmar que é muito importante estar atento ao desempenho térmico, pois a edificação tem um alto potencial de alterar a temperatura no interior do ambiente. Segundo Frota e Schiffer (2003), adequar a arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto. À arquitetura cabe tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como as de excessivo calor, frio ou vento, quanto propiciar ambientes, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos (apud DIAS, 2009).

Além do conforto, preocupar-se com o desempenho térmico também acarreta em outros benefícios no que diz respeito ao meio ambiente. De acordo com Silva e Nogueira (2017), tratar de desempenho térmico é muito importante, sobretudo em um contexto de economia de energia e fontes renováveis. Segundo eles, os métodos construtivos estão muito focados em uma unidade habitacional com conforto térmico adequado e que não precise do de condicionadores de ar 24 horas por dia, privilegiando sempre a ventilação do local, uso de materiais construtivos que não absorvam calor para os ambientes, métodos de captar esse calor e transformar em energia, entre outras soluções para beneficiar o usuário. Portanto, como defende Kappaun (2012), conhecer as propriedades térmicas permite estabelecer estratégias para que o edifício responda de maneira eficiente às variações do clima.

Para que uma edificação ofereça desempenho térmico satisfatório, a ABNT NBR 15575:2013 determina que a edificação habitacional deve considerar a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3:2005. Segundo Kappaun (2012), a divisão bioclimática da

norma levou em conta o clima de cada local atribuindo a mesma classificação zonal para regiões com homogeneidade quanto às medidas mensais das temperaturas máximas e mínimas e as médias mensais da umidade relativa do ar. Dessa forma, os sistemas construtivos são pensados de forma a incluir considerações ambientais no projeto.

Para que o desempenho mínimo seja atingido, a temperatura interna máxima em recintos de permanência prolongada deve ser menor que a temperatura externa máxima. Porém, como mostra Freitas e Lorenzo (2016) em um estudo feito em uma edificação em Palmas/TO, é necessário ter cuidado ao analisar os resultados obtidos por meio do procedimento descrito na norma. Isso porque, no estudo em questão, foi constatado que o desempenho térmico da edificação foi integralmente atendido segundo a norma, entretanto, observou-se que na maior parte do tempo a temperatura interna foi superior à temperatura externa, já que houve uma oscilação constante na temperatura interna enquanto a externa apresentou queda.

Para que seja atingido níveis superiores de desempenho quanto ao conforto térmico na zona bioclimática 7, onde está a cidade de Palmas/TO, a norma estabelece que, para o verão, a temperatura interna máxima em ambientes de permanência prolongada seja 2°C menor que a temperatura externa para desempenho intermediário. Para atingir o desempenho superior, essa diferença deve ser de 4°C (Tabela 02). Para o inverno, o conforto térmico não precisa ser avaliado na zona bioclimática 7.

Tabela 02 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{máx}}$	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{máx}}$
I	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i, \text{max}} \leq (T_{e, \text{max}} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{max}} \leq (T_{e, \text{max}} - 2\text{ o C})$ e $T_{i, \text{min}} \leq (T_{e, \text{min}} + 1\text{ o C})$

Fonte: ABNT NBR 15575-1:2013

A norma estabelece três procedimentos para a avaliação da adequação das condições de conforto térmico das habitações. São eles: o simplificado (teórico), a simulação computacional e a medição *in loco*.

2.3.1 Procedimento simplificado (teórico)

O procedimento 1, simplificado, apresentado na primeira parte da norma de desempenho, se dá pelo atendimento aos requisitos e critérios de Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT) para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, respectivamente.

As Tabelas 03 e 04 apresentam os valores dos critérios de desempenho mínimo estabelecidos pela a norma de desempenho para as paredes externas, separados por zona bioclimática.

Tabela 03 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U W/m ² . K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Tabela 04 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Para o sistema de cobertura, a norma determina que a edificação deve apresentar Transmitância Térmica e absorptância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática. A Tabela 05 apresenta os valores dos critérios de desempenho mínimo estabelecidos pela a norma de desempenho para a cobertura, separados por zona bioclimática.

Tabela 05 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U) W/m ² . K
--

Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura.
O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

O procedimento de cálculo de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica, a tabela de absorvância à radiação solar, bem como o mapa de zonas bioclimáticas do Brasil são determinados pela ABNT NBR 15220:2005.

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme expressão 1:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

Onde:

U: Transmitância térmica

R_T: Resistência térmica total

A resistência térmica total é calculada pela expressão 2, sendo que as resistências superficiais externa e interna são obtidas em tabela fornecida na ABNT NBR 15220:2005.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

Onde:

R_T: Resistência térmica total

R_{se}: Resistência superficial externa

R_t: Resistência térmica de superfície a superfície

R_{si}: Resistência superficial interna

A resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 3. Os valores das resistências térmicas das câmaras de ar são obtidos em tabela fornecida na ABNT NBR 15220:2005.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (3)$$

Onde:

R_t : Resistência térmica de superfície a superfície

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$: Resistências térmicas das n camadas homogêneas

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$: Resistências térmicas das n câmaras de ar

A norma determina que os valores da Resistência Térmica das camadas homogêneas (R) devem ser obtidos, sempre que possível, por meio de medições baseadas em ensaios normalizados. Contudo, na ausência de valores medidos, a resistência térmica de camadas homogêneas pode ser determinada pela expressão 4. O valor da condutividade térmica do material é fornecido em tabela que consta na ABNT NBR 15220:2005.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

Onde:

R: Resistência térmica

e: Espessura da camada (m)

λ : Condutividade térmica do material (W/m.K)

A Capacidade Térmica (CT) é calculada por meio da expressão 5, apresentada na ABNT NBR 15220:2005

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (5)$$

Onde:

C_T : Capacidade térmica

λ_i : Condutividade térmica do material

R_i : Resistência térmica da camada

c_i : Calor específico do material da camada

ρ_i : Densidade de massa aparente do material da camada

2.3.2 Simulação Computacional

Baseado na transmitância térmica e capacidade térmica, caso o desempenho seja insatisfatório, deve ser avaliado o desempenho térmico da edificação como um todo através de outro procedimento, que é o método da simulação computacional, apresentado na norma ABNT NBR 15575:2013, sendo recomendado o software Energy Plus ou programas semelhantes.

Para a simulação, deve ser considerada a localização geográfica da edificação por meio de tabelas fornecidas na norma de desempenho e, na geometria do modelo de simulação, é necessário considerar cada ambiente como uma zona térmica. É necessário também utilizar os dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos. As exigências de desempenho mínimo são as mesmas para a simulação computacional e para o método de medição *in loco*.

2.3.3 Medição *in loco*

Como alternativa, a norma apresenta um terceiro procedimento, que consiste na verificação ao atendimento da norma por meio de medições *in loco* em edificações ou protótipos construídos. A vantagem do procedimento alternativo é que ele demonstra na prática, por meio de medições de temperatura, o desempenho térmico da edificação, e esse será o procedimento adotado no presente trabalho, sendo, portanto, descrito na metodologia.

2.4 Conforto acústico

A definição de acústica, segundo Paixão (2002), é o estudo dos sons (ou ruídos) e das ondas sonoras, que por sua vez é uma forma de energia transmitida através da colisão sucessiva das moléculas de um meio. Dias, ainda em 2009, já tratava da elevada poluição sonora na sociedade.

A poluição sonora nem sempre foi motivo de preocupação para a sociedade, no entanto, a forma de vida contemporânea remete tal preocupação a níveis mais alarmantes, haja vista o constante crescimento urbano, que exige a evolução do transporte e o avanço tecnológico. Por isso, urge estudar os problemas sonoros nas edificações (DIAS, 2009).

Os ruídos podem ser classificados em aéreo, que são os originados no ar e continuamente nele propagados ou de impacto, em que as vibrações de sólidos e impactos são transmitidas diretamente sobre uma estrutura e provocam posteriormente a vibração do ar. Eles

também podem ser ruídos internos ou externos, que podem ser, por exemplo, uma pessoa conversando na sala ou o tráfego de carros em uma rua próxima, respectivamente (SOUZA, ALMEIDA E BRAGANÇA, 2012).

A poluição sonora é um problema importante, pois incomoda e prejudica a qualidade de vida, podendo causar danos desde efeitos psicológicos à perda auditiva. Todo o organismo reage a altos níveis de ruído, que afetam, além da audição, o sono, agindo sobre o subconsciente e sobre o sistema nervoso, prejudicando a saúde psíquica e mental. Segundo Silva (1997 apud NETO, 2006), a inteligência também pode ser influenciada pelo ruído, principalmente na capacidade de atenção do indivíduo, reduzindo o rendimento no trabalho, tanto intelectual como físico. Portanto, a qualidade acústica de um ambiente é um fator crucial para o bem estar e o conforto da população (MICHALSKI, 2011; NETO, 2006).

Portanto, para se obter um bom desempenho acústico entre ambientes, busca-se atenuar a transmissão de energia sonora de um lugar para outro, ou seja, o isolamento ocorre quando há uma redução significativa da passagem de som (MICHALSKI, 2011).

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013 apud NEVES, 2015), é desejável limitar tanto a quantidade de som que é refletida por uma parede quanto a que passa por ela para áreas adjacentes. A redução do som em um determinado cômodo dependerá basicamente das propriedades de absorção sonora das paredes. Quanto maior a porosidade do material e quanto mais rugosa for a textura da parede, mais o som é absorvido pela superfície.

Diante disso, a norma de desempenho foi elaborada para ser um dos principais instrumentos para melhorar as questões acústicas, desde a concepção do projeto até a especificação dos seus materiais. A ABNT NBR 15575:2013 estabelece os níveis de ruídos aceitáveis analisando o desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais internas e externas (PEREIRA, 2016). Segundo Borges (2008), o desempenho acústico é tratado em outras normas, mas, assim como outras premissas, foi inserida na norma de desempenho para facilitar o acultramento, no nível de projeto, de considerações que historicamente não fizeram parte da rotina dos projetistas.

A ABNT NBR 15575-1 determina que as edificações habitacionais devem apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas. Segundo a norma, para vedação satisfatória dos ruídos externos consideram-se as vedações verticais (ABNT NBR 15575-4) e a cobertura (ABNT NBR 15575-5). Em contrapartida, para o isolamento entre ambientes considera-se o sistema de pisos (ABNT

NBR 15575-3) e de vedações (ABNT NBR 15575-4). Para os ruídos de impacto, a norma não considera a alvenaria, apenas piso e cobertura (ABNT NBR 15575:2013).

Os parâmetros que são verificados no isolamento de ruído aéreo são a diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$), e a diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada/cobertura ($D_{2m,nT,w}$) para o isolamento externo. De acordo com a ISO 140-4:1998, diferença padronizada de nível é a “diferença de nível, em decibéis, correspondente a um valor de referência do tempo de reverberação na sala receptora”. A importância desses parâmetros ponderados de isolamento sonoro é que eles são utilizados para quantificar o isolamento sonoro aéreo, que depende da frequência, convertendo em um único número que caracteriza o desempenho acústico por meio de um índice ponderado. Dessa forma, o valor único, ao invés de um conjunto de dados em bandas de frequência, facilita a comparação e a escolha rápida de materiais (FILHO, 2014).

Para os outros níveis de desempenho de vedação entre ambientes, a norma apresenta uma Tabela com os valores de $D_{nT,w}$ para os níveis mínimo, intermediário e superior (Tabela 06).

Tabela 06 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≤ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≤ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≤ 50	S
	30 a 34	M
	35 a 39	I

Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≤ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≤ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≤ 50	S

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

A norma estabelece três métodos para a avaliação da adequação das condições de conforto acústico das vedações verticais. São eles: o de precisão, o de engenharia e o simplificado.

2.4.1 Método de precisão

O método de precisão tem como objetivo determinar, em laboratório, o isolamento sonoro de componentes e elementos construtivos, como paredes, janelas e portas, a fim de fornecer uma referência de cálculo para os projetos. Para isso, a norma de desempenho determina que deve ser utilizado o método de ensaio descrito na ISO 10140-2:2010 (ABNT NBR 15575:2013).

O objetivo é atingir os valores de índices de redução sonora (R) para cada banda de frequência e utilizar a ISO 717-1:2013 para atingir um valor único de isolamento acústico por meio da ponderação das várias leituras de cada ensaio. Neste método são medidos ruído aéreo, ruído de fundo e tempo de reverberação. O valor de isolamento acústico global (R_w) servirá de dado de entrada nos projetos para possibilitar a estimativa do desempenho acústico de um sistema construtivo ainda na fase de projeto (REZENDE *et al.*, 2014).

2.4.2 Método de engenharia

O método de engenharia é o mais preciso dentre os procedimentos de campo e, segundo a norma de desempenho, para vedação externa é necessário determinar em campo o isolamento

sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema utilizando o método da ISO 140-5:1998.

Para as paredes internas é necessário determinar em campo o isolamento sonoro global entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema utilizando o método descrito na norma ISO 140-4:1998 (ABNT NBR 15575:2013). Esse será o procedimento adotado no presente trabalho sendo, portanto, descrito na metodologia.

2.4.3 Método simplificado

O método simplificado pode ser utilizado para obter uma estimativa do desempenho acústico, tanto interno como externo, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária ou quando as condições de ruído ambiente não permitem obter o tempo de reverberação. Para isso, é utilizado o método descrito na ISO 1005:2005 que, através dela, é possível atingir um valor aproximado de isolamento acústico global do sistema em questão. (ABNT NBR 15575:2013).

2.5 Alvenaria estrutural

2.5.1 Histórico

A alvenaria, de uma forma geral, pode ser definida como o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso. Em alvenaria estrutural, especificamente, não se utilizam pilares e vigas, pois as paredes chamadas de portantes compõem a estrutura da edificação e distribuem as cargas uniformemente ao longo das fundações. Dessa forma, é possível transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura (TAUIL E NESE, 2010).

A alvenaria estrutural tem sido utilizada há milhares de anos, mesmo que empiricamente. Em suas formas primitivas era construída tipicamente com tijolos de barro de baixa resistência ou de pedra e, posteriormente, foram desenvolvidas unidades de cerâmica cozida e de outros materiais de alta resistência. A aplicação de métodos empíricos de projeto e construção se manteve até o século XX. Então, nos últimos 60 anos aproximadamente, houve um aumento significativo na pesquisa básica e aplicada do material e apenas recentemente o

projeto dessas estruturas passou a ser baseado em princípios científicos rigorosos (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

De acordo com Falcão (2010), existem patrimônios históricos da humanidade que foram construídos com a utilização da alvenaria como elemento estrutural, o que posteriormente deu origem à alvenaria estrutural como é conhecida atualmente. Alguns exemplos são as Pirâmides de Gizé no Egito (Figura 01), a Muralha da China (Figura 02), o Coliseu em Roma (Figura 03) e o Taj Mahal na Índia (Figura 04), dimensionadas a partir de bases empíricas. As paredes eram executadas com espessuras excessivas, pois não se tinha segurança da resistência de sua estrutura. Sua técnica baseava-se nas experiências das construções anteriores.

Figura 01 - Pirâmides de Gizé



Fonte: Wikipedia (2010)

Figura 02 - Muralha da China



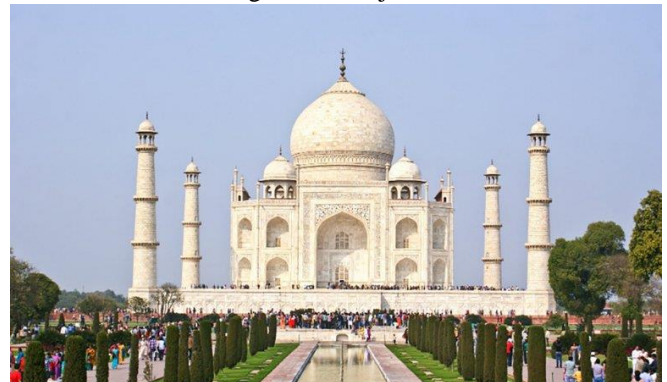
Fonte: China Link Trading (2017)

Figura 03 - Coliseu Romano



Fonte: ArchDaily (2019)

Figura 04 - Taj Mahal



Fonte: MaxMilhas (2015)

Segundo Rosso (1980, p.8), em meados do século XX, com a necessidade do mercado em buscar novas técnicas alternativas de construção, a alvenaria foi desenvolvida e aplicada com materiais e tecnologias mais avançados. Segundo Franco (1992, p.12), o método construtivo foi introduzido pela primeira vez em 1966 no Brasil em um edifício com quatro

pavimentos, o Conjunto Habitacional Central Parque Lapa (Figura 05), localizado em São Paulo (apud FALCÃO, 2010).

Figura 05 - Conjunto Habitacional Central Parque



Fonte: Comunidade da construção (2020)

2.5.2 Materiais

Os principais elementos que compõem a alvenaria estrutural são blocos (ou unidades), argamassa, graute e armadura.

2.5.2.1 Unidades

Um dos aspectos mais relevantes do projeto é a definição do tipo de bloco a ser empregado, pois implica em aspectos técnicos relativos ao projeto, à execução, aspectos econômicos e relativos a desempenho e vida útil. Assim, alguns dos aspectos relevantes para a escolha são: capacidade de seu fornecimento na região onde a edificação será construída, custo das unidades, cultura construtiva da empresa executora, propriedades e características do material (RAUBER, 2005).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), as unidades são os componentes básicos da alvenaria estrutural, sendo as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura. Quanto ao material componente, as mais utilizadas no Brasil para

edificações de alvenaria estrutural são as unidades cerâmicas (Figura 06), as unidades de concreto (Figura 07) e as unidades sílico-calcárias (Figura 08).

Quanto à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total. Se os vazios excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada (ABNT NBR 6136:1994).

Figura 06 - Blocos cerâmicos



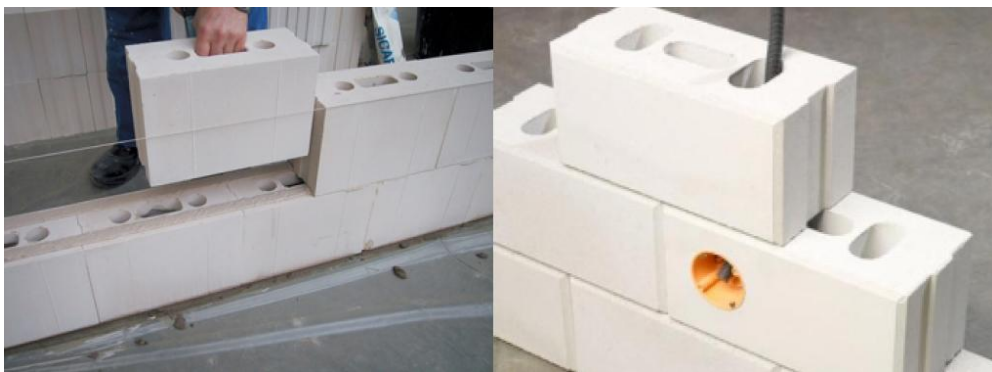
Fonte: Engenharia Concreta (2017)

Figura 07 - Blocos de concreto



Fonte: Cidade engenharia (2019)

Figura 08 - Blocos sílico-calcários



Fonte: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/blocos_calcareos.php (2020)

2.5.2.2 Argamassa

Camacho (2006) define argamassa como sendo o componente utilizado na ligação entre os blocos, evitando pontos de concentração de tensões, sendo composta de cimento, agregado miúdo, água e cal, sendo que algumas argamassas podem apresentar adições para melhorar determinadas propriedades.

O cimento confere resistência e durabilidade à argamassa, a cal é um aditivo responsável pela trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade, e a areia proporciona o enchimento e

resistência da mistura, além de diminuir o assentamento da massa, evitando retração (TAUIL E NESE, 2010).

Quanto à função da argamassa, é unir as unidades, garantir a vedação e compensar as variações dimensionais da unidade. Por ser o agente ligante que integra a alvenaria, a argamassa deve ser forte, durável e capaz de garantir integridade e estanqueidade (CAMACHO, 2006).

Alguns itens importantes devem ser observados na argamassa para conferir qualidade adequada. São elas, trabalhabilidade, espessura da junta e resistência à compressão. Segundo Roman, Mutti & Araújo (1999), a argamassa de boa trabalhabilidade deve ser espalhar sobre o bloco e aderir às superfícies verticais, ter uma consistência que facilite o alinhamento do bloco sem que haja escorrimento da argamassa (apud NETO, 2006).

Com relação à espessura das juntas, a ABNT NBR 8798:1985 determina que devem ser de 1 centímetro. Segundo Falcão (2010), valores menores não conseguiriam absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades e valores maiores reduzem a resistência à compressão pelo aparecimento de maiores tensões de tração lateral nos blocos.

De acordo com Pozzobon (2003) não há uma relação direta da resistência da argamassa com a resistência da parede. Ele defende que para cada resistência de bloco existente há uma resistência ótima da argamassa. Portanto, um aumento desta resistência não necessariamente aumentará a resistência da parede.

2.5.2.3 *Graute*

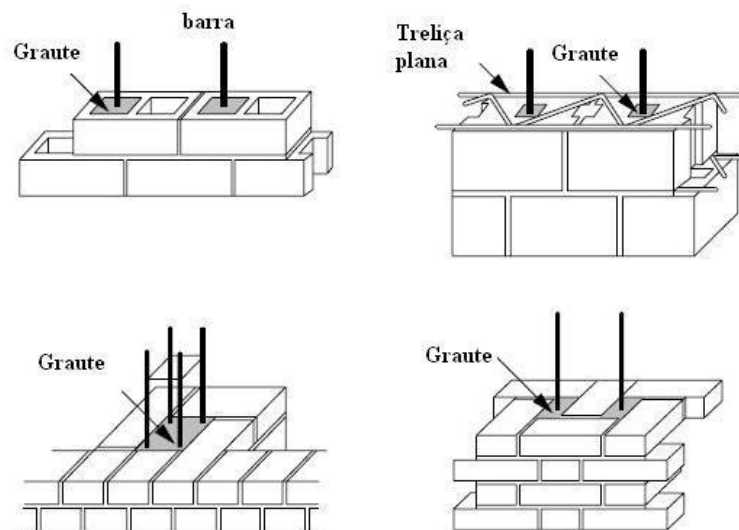
Tauil e Nese (2010) definem graute como sendo um concreto com agregados miúdos e destinado ao preenchimento dos vazios dos blocos, nos locais especificado pelo projetista da estrutura. Segundo Manzione (2004), sua principal função é aumentar a resistência da parede à compressão, em razão do aumento da seção transversal do bloco. Quando combinado com uso de armaduras em seu interior, o graute combaterá também esforços de tração (apud NETO, 2006).

O graute é composto por areia, pedrisco, cimento e cal e se difere do concreto no tamanho do agregado graúdo, que é mais fino e na relação água/cimento, que é maior. O graute também necessita ter elevada trabalhabilidade para preencher todos os vazios, considerando que o bloco normalmente tem grande absorção de água (FALCÃO, 2010).

2.5.2.4 Armadura

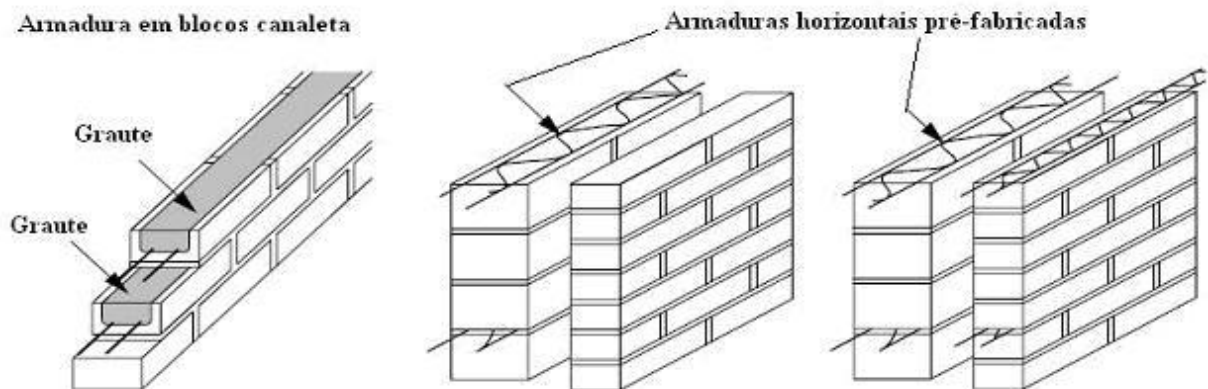
Segundo Camacho (2006), as armaduras empregadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas no concreto armado. De acordo com Neto (2006), as mesmas, juntamente com o graute, possuem a função de combater os esforços de tração na alvenaria. A alvenaria pode ser armada verticalmente (Figura 09) ou horizontalmente (Figura 10).

Figura 09 - Armaduras verticais



Fonte: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/condicoes_armadura.php (2020)

Figura 10 - Armaduras horizontais



Fonte: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/condicoes_armadura.php (2020)

2.5.3 Tipos de alvenaria

A alvenaria estrutural pode ser classificada quanto à sua armadura. A alvenaria não armada não recebe graute, apenas os reforços de aço como vergas e contravergas para evitar patologias futuras. A alvenaria armada (ou parcialmente armada) recebe reforços em algumas

regiões devido a exigências estruturais. A alvenaria protendida é reforçada por uma armadura ativa (pré-tensionada) que submete a alvenaria a esforços de compressão (TAUIL E NESE, 2010).

2.5.4 Características da alvenaria estrutural

Em alvenaria estrutural, de acordo com Wendler (2005), para prédios de até quatro pavimentos, há uma redução no custo da estrutura de 25% a 30% quando comparada ao concreto armado (Tabela 07). À medida que se aumenta o número de pavimentos essa redução diminui para valores em torno de 4% a 6%. Diante dessa economia para edificações menores, vários programas de apoio à construção de habitações populares para baixa renda (até quatro pavimentos) têm levado as construtoras a adotarem o sistema construtivo em alvenaria estrutural (apud MOHAMAD, 2015).

Tabela 07 - Custos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural no Brasil

<i>Característica da obra</i>	<i>Economia (%)</i>
Quatro pavimentos	25-30
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada	20-25
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria armada	15-20
Sete pavimentos com pilotis	12-20
Doze pavimentos sem pilotis	10-15
Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	8-12
Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	4-6

Fonte: Wendler (2005) apud Mohamad (2015)

2.5.4.1 Vantagens da alvenaria estrutural

- **Economia de formas:** Apenas as necessárias na concretagem das lajes, porém, ainda assim, são fôrmas lisas, baratas e de grande reaproveitamento;
- **Redução significativa nos revestimentos:** Há maior controle da qualidade dos blocos e da execução. Sendo assim, a redução dos revestimentos é muito significativa, visto que usualmente o revestimento interno é feito com uma camada de gesso aplicada diretamente sobre a superfície dos blocos e no caso dos azulejos, eles também podem ser colados diretamente sobre os blocos;

- **Redução nos desperdícios de material e mão-de-obra:** As paredes não admitem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para a colocação de instalações hidráulicas e elétricas. Há menos possibilidades de improvisos na alvenaria estrutural;
- **Redução do número de especialidade:** Não são necessários profissionais como armadores e carpinteiros;
- **Flexibilidade no ritmo de execução da obra:** Se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

2.5.4.2 *Desvantagens da alvenaria estrutural*

- **Dificuldade de se adaptar à arquitetura para um novo uso:** Como as paredes são parte da estrutura da edificação, torna-se inviável removê-las;
- **Interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações:** Os furos na alvenaria devem ser feitos de forma cuidadosa e isso condiciona de forma marcante os projetos de instalações elétricas e hidráulicas;
- **Necessidade de uma mão-de-obra bem qualificada:** É necessário um treinamento prévio para a equipe de execução para diminuir o risco de falhas e comprometimento da segurança da edificação
- **Dificuldade de vencer grandes vãos** (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

2.6 **Trabalhos relacionados com o tema**

Gonçalves (2020) analisou o desempenho térmico em protótipos construídos em Palmas/TO. A análise foi feita utilizando-se o método teórico descrito na ABNT NBR 12.220-2:2005 e medições *in loco* no campus experimental da Universidade Federal do Tocantins. O estudo concluiu que os protótipos cumpriram com os requisitos mínimos no que se refere à capacidade térmica e transmitância térmica da cobertura e da vedação vertical. Contudo, a temperatura interna de ambos os protótipos permaneceu, quase que na maior parte do tempo, superior à externa, apresentando assim um desempenho térmico insatisfatório de acordo com os critérios estabelecidos na ABNT NBR 15.575:2013.

Pereira (2016) realizou um estudo sobre o conforto acústico em residências multifamiliares através de medições de ruídos em uma edificação construída em 2007. O autor concluiu por meio do trabalho que antes da ABNT NBR 15.575:2013 as edificações não tinham o devido cuidado com o isolamento acústico, pois na edificação estudada haviam problemas apontados pelos moradores quanto a esse quesito. Além disso, o imóvel não atendeu aos requisitos mínimos da norma de desempenho ao passo que os parâmetros acústicos obtidos eram suficientes para aquela época. Portanto, segundo o autor, a norma foi muito importante para tornar mais eficaz em relação ao passado o controle do nível de ruído das edificações.

Neves (2015) analisou alguns requisitos da norma de desempenho comparando-os com resultados de estudos realizados em construções em alvenaria estrutural. Foram considerados desempenho térmico, desempenho acústico, estanqueidade e resistência ao fogo. O autor concluiu que o desempenho térmico dos blocos estruturais atendeu a norma de desempenho, mas tendo alguns cuidados principalmente em zonas bioclimáticas com grandes variações térmicas. Quanto ao desempenho acústico e a resistência ao fogo, os requisitos mínimos da norma foram atendidos. Os resultados referentes à estanqueidade também foram satisfatórios, porém sendo necessário cuidado com a correta utilização da argamassa nos blocos.

Corrêa (2018) analisou o desempenho térmico, manutenibilidade, funcionalidade e acessibilidade em edificações habitacionais em Palmas/TO de acordo com a ANBR NBR 15575:2013. O objetivo foi revelar os critérios da norma que foram atendidos e apresentar soluções para os critérios não atendidos. A edificação atendeu o desempenho mínimo de funcionalidade, porém o desempenho térmico, a manutenibilidade e a acessibilidade precisavam de ajustes para se adequarem à norma de desempenho. Além disso, o autor observou que faltam parâmetros na norma para uma avaliação mais acurada do desempenho térmico.

3 METODOLOGIA

Além de estabelecer os critérios mínimos de desempenho em uma edificação, a ABNT NBR 15575:2013 também apresenta os procedimentos metodológicos que devem ser realizados a fim de comprovar os critérios nela estabelecidos. Tendo isso em vista, no presente trabalho foram adotados tais procedimentos no que se refere a conforto térmico e acústico. Para isso, foi realizado uma pesquisa de campo aplicada a uma edificação em alvenaria estrutural na cidade de Palmas/TO, com o intuito de averiguar o atendimento à norma de desempenho.

3.1 Descrição da edificação estudada

Por exigência de um dos sócios do residencial, a condição para realização do estudo é a não divulgação de informações que permitam identificar o empreendimento. Portanto, dados como nome da edificação, endereço e construtora não foram apresentados.

A edificação em alvenaria estrutural estudada está localizada no Plano Diretor Norte da cidade de Palmas/TO. O edifício encontra-se em fase de construção e irá dispor de 6 blocos com 7 pavimentos e 4 apartamentos. Um bloco já está concluído, onde foram realizados os ensaios.

A edificação está sendo construída com blocos cerâmicos. Os apartamentos possuem dois quartos sendo uma suíte, duas varandas (uma na sala e outra na suíte), banheiro social, área de serviço, sala de estar/TV, cozinha e um hall de entrada. Na Figura 11 está representada uma planta comercial de layout, divulgada para o marketing do empreendimento. Posteriormente, nas Figuras 13 e 19, constam a planta técnica com indicação do norte.

Figura 11 - Planta baixa do apartamento

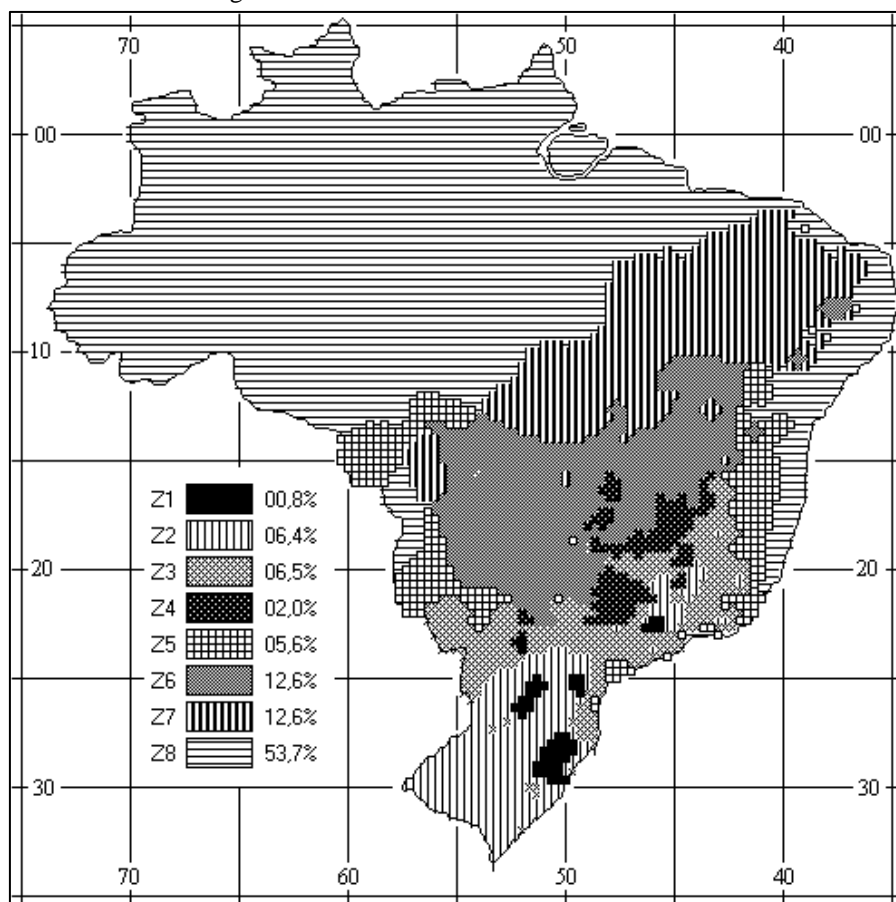


Fonte: Pinterest (2020)

3.2 Conforto térmico

De acordo com a norma de desempenho, a edificação deve apresentar características que atendam às exigências de conforto térmico considerando a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Baseado na Tabela no anexo A da ABNT NBR 15220-3:2005, que coloca Porto Nacional – TO (localizado a 52 quilômetros em linha reta da capital) como zona bioclimática 7 e também na análise do mapa mostrado na Figura 12, conclui-se que Palmas está localizado na mesma zona bioclimática.

Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro



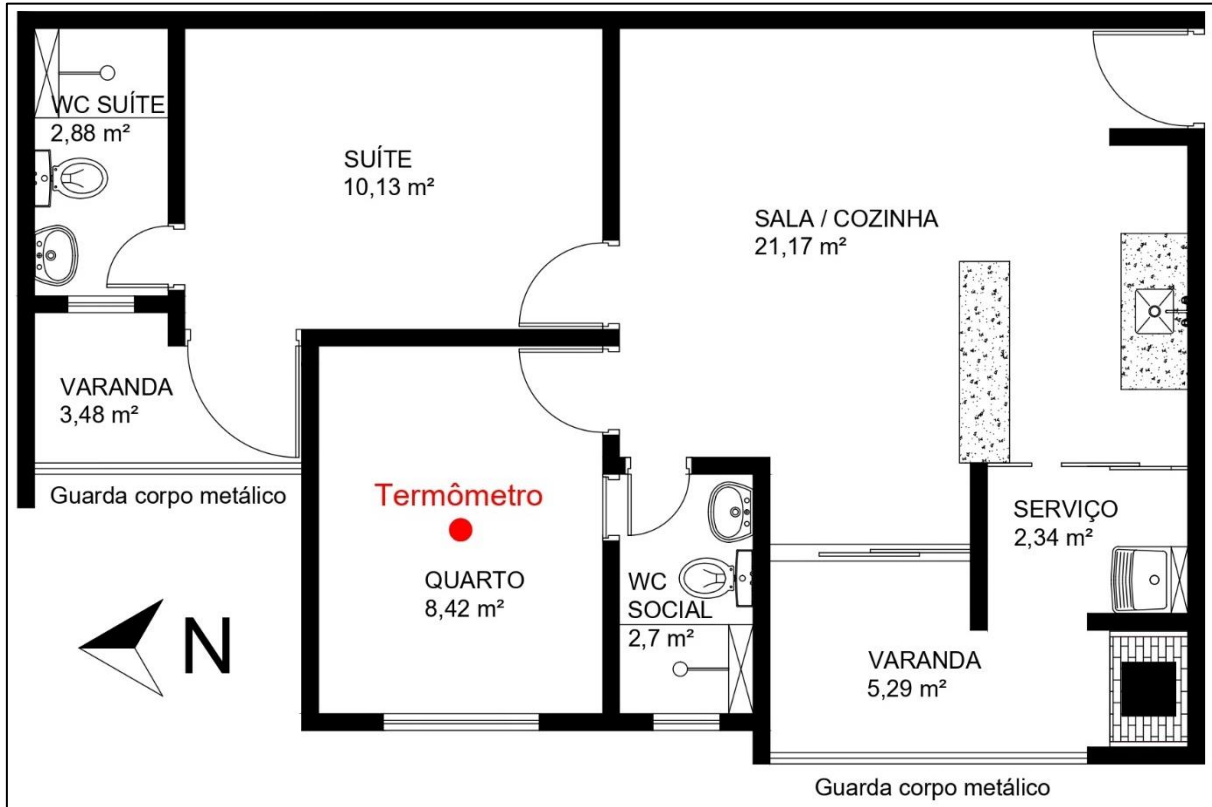
Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005

Para a verificação do desempenho térmico, foi adotada a medição *in loco*, o segundo procedimento apresentado na primeira parte da ABNT NBR 15575:2013. Este procedimento consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios de desempenho mínimo de temperatura por meio da realização de medições na edificação. Essa foi a metodologia adotada para averiguar o conforto térmico da edificação devido à vantagem de ser um procedimento objetivo que mostra na prática, por meio de valores de temperaturas, o atendimento aos requisitos da norma de desempenho, sem depender de simulações ou cálculos matemáticos teóricos.

Para a medição em campo, adotou-se como referência o exposto na norma de desempenho. Dessa forma, a unidade analisada está localizada no último andar e possui a janela do quarto voltada para oeste e outra parede exposta voltada para o norte, como determina a norma de desempenho (Figura 13). Foi realizado, portanto, de acordo com o que a norma de desempenho requisita, a medição da temperatura do ar no centro do local de permanência

prolongada, no caso o quarto, a 1,20 m do piso com auxílio de um tripé para a instalação do termômetro (Figura 14).

Figura 13 – Localização do termômetro



Fonte: Construtora (com adaptações) (2021)

Figura 14 – Termômetro instalado



Fonte: Autor

O equipamento utilizado foi o Highmed Datalogger HMTGD-1800, que atende aos critérios estabelecidos pela ISO 7726:2001 cujo atendimento é determinado pela norma de desempenho (Figura 15).

Figura 15 – Termômetro Datalogger HMTGD-1800



Fonte: Highmed (2020)

O dia da medição, de acordo com a norma de desempenho, deve ser um dia típico de verão precedido por pelo menos um dia com características semelhantes considerando a temperatura externa medida no local. Para isso, é recomendado que seja avaliado uma sequência de três dias, sendo analisados os dados do terceiro dia.

Porém, por questão de segurança do termômetro, a medição não foi feita na edificação. Para evitar que o equipamento sofresse qualquer dano, ou até mesmo furto, por ficar exposto durante todo o dia na obra por três dias consecutivos, optou-se por coletar os dados de temperatura externa para a cidade de Palmas/TO, nas datas em questão, no Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Universidade Federal do Tocantins. Para a temperatura interna, entretanto, a medição foi feita *in loco*, já que se tratava de um local mais reservado. A medição foi realizada no dia 28/09/2021, sendo analisados também os dados de temperatura ambiente dos dias 26 e 27/09/2021 (Anexo A).

Para que a edificação seja considerada adequada de acordo com a norma para a zona bioclimática 7, no verão o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes

internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, como mostrado na Tabela 08.

Tabela 08 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p>$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

No inverno, para a zona bioclimática de Palmas/TO, esse critério não necessita ser verificado como indicado na Tabela 09.

Tabela 09 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3\text{o C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

3.3 Conforto acústico

Para a verificação do desempenho acústico da edificação foi adotado, por ser o mais preciso dentre os procedimentos de campo, o que a norma denomina como método de

engenharia e foi avaliado o isolamento de ruído aéreo interno. O ruído de impacto não foi avaliado por não ser influenciado diretamente pela alvenaria, mas sim pelo piso e cobertura.

O ensaio de isolamento do ruído aéreo de vedações verticais internas segue o procedimento indicado na norma ISO 140-4:1998. Os métodos fornecem valores para o isolamento acústico do ar que dependem da frequência e são convertidos em um único número, caracterizando o desempenho acústico, por aplicação da ISO 717-1:2013. Os resultados obtidos podem ser usados para comparar o isolamento acústico entre salas e para comparar o isolamento acústico real com os requisitos especificados.

Para realização dos ensaios foram envolvidas as suítes de duas unidades autônomas vizinhas horizontalmente, já que são locais que necessitam de melhor conforto acústico para evitar a perturbação do descanso. No ambiente emissor foi instalada uma fonte geradora de ruído branco, como recomendado pela ISO 140-4:1998, caracterizado por um sinal sonoro com todas as frequências emitidas na mesma potência. Para isso, foi utilizada uma caixa acústica amplificada JBL JS151A de 200W de potência (Figura 16). Para a geração do ruído branco, foi utilizado um smartphone conectado à caixa acústica por meio de um cabo P2-RCA. Foi utilizado também um protetor auricular para preservação da saúde auditiva do acadêmico.

Figura 16 - Caixa acústica JBL JS151A



Fonte: Autor

Para a medição do nível de pressão sonora do ruído aéreo, foi utilizado o sonômetro Phonic PAA6 (Figura 17) em ambos os ambientes.

Figura 17 – Sonômetro Phonic PAA6



Fonte: Autor

Para que a norma fosse atendida, no posicionamento do sonômetro foi observado as distâncias mínimas de 0,7 metros entre as posições do aparelho; 0,5 metros entre o microfone e os limites do quarto; e 1,0 metro entre a fonte sonora e o receptor. Também foi necessário que, por utilizar posições fixas do microfone, fosse adotado no mínimo 5 posições, distribuídas uniformemente no quarto. Além disso, foi respeitado o número mínimo de medições em cada ambiente utilizando microfones fixos, que no caso são 10 medições.

Ainda para atender à norma, no posicionamento da fonte sonora foi observado uma distância de, no mínimo, 1,4 metros entre os seus posicionamentos. A distância entre os limites do quarto e o centro da fonte também não foi inferior a 0,5 m. Além disso, as fontes geradoras de ruído foram posicionadas nos cantos da suíte, como recomenda a norma (Figura 18).

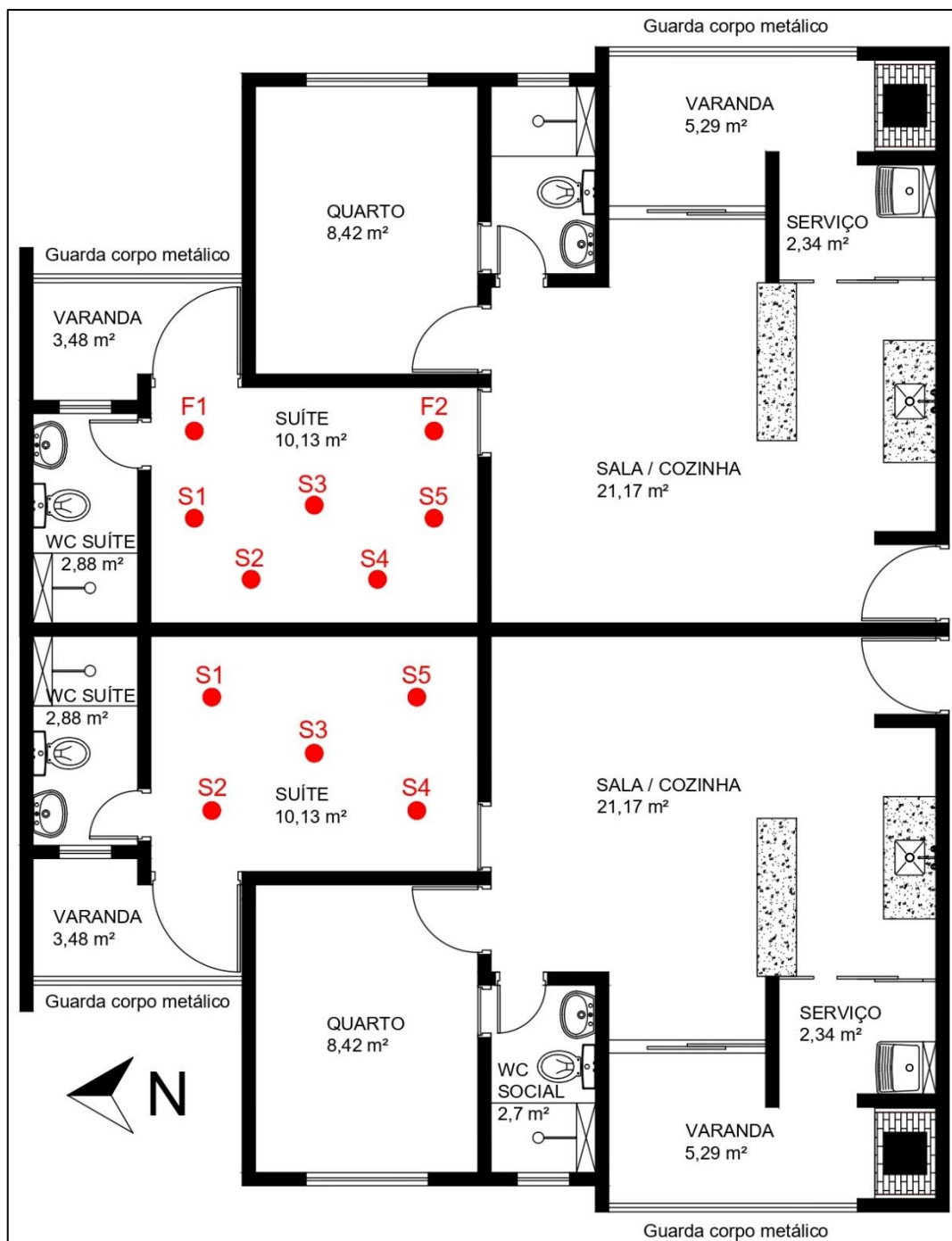
Figura 18 – Ambiente emissor



Fonte: Autor

A Figura 19 indica o posicionamento dos equipamentos em ambos os ambientes. Foram consideradas duas posições da fonte sonora, F1 e F2, e cinco posições do sonômetro em cada ambiente, S1, S2, S3, S4 e S5, totalizando 10 medições para o ambiente emissor e para o receptor. Todas as distâncias mínimas de posicionamento foram respeitadas.

Figura 19 – Posicionamento dos equipamentos para ensaio de desempenho acústico



Fonte: Construtora (com adaptações) (2021)

A norma determina que se as salas forem de volumes diferentes, a maior deve ser escolhida como sala de origem. Porém, como a medição foi feita entre salas de volumes iguais, era indiferente a escolha da sala geradora do ruído. É importante observar também que o nível de pressão do som na sala receptora devia ser pelo menos 10 dB superior ao ruído de fundo em qualquer banda de frequência. Como indica a Tabela do Apêndice B, esse critério foi atendido

para todos os posicionamentos da fonte sonora e do sonômetro em todas as bandas de frequência.

De acordo com a ISO 140-4:1998, podem ser consideradas para a realização do ensaio frequências de bandas de oitava ou bandas de 1/3 de oitava. Por ser mais preciso, foram consideradas as frequências de bandas de 1/3 de oitava, sendo elas, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 e 3150 Hz.

Os parâmetros que foram medidos são:

O nível de pressão sonora médio numa sala (L), em decibéis, que é o nível correspondente à média espacial e temporal do valor médio quadrático da pressão sonora na sala, na banda considerada, expresso por:

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (6)$$

Onde:

L_j : Nível de pressão sonora equivalente na sala medido durante um intervalo de tempo fixo em uma das n posições diferentes.

Diferença de nível (D), em decibéis, nos níveis médios de pressão sonora no espaço e no tempo em diferentes bandas de frequência produzidos em duas salas por uma ou mais fontes de som em um deles. Expresso por:

$$D = L_{\text{emissor}} - L_{\text{receptor}} \quad (7)$$

Diferença de nível padronizada (DnT), em decibéis, correspondente a um valor de referência do tempo de reverberação na sala receptora, expresso por:

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (8)$$

Onde:

D: Diferença de nível

T: Tempo de reverberação na sala receptora

T₀: Tempo de reverberação de referência; para habitações, T₀ = 0,5 s

O tempo de reverberação T, expresso em segundos, depende do volume da sala V, em metros cúbicos, e da área de absorção sonora equivalente da sala A, em metros quadrados, e é calculado pela fórmula de Sabine:

$$T = 0,161 \frac{V}{A} \quad (9)$$

A área de absorção sonora equivalente de uma sala expressa, em m², a quantidade de absorção sonora presente e abrange a soma de todas as diferentes partes da área total da superfície da sala mais os objetos presentes, sendo o somatório dos produtos de todas as áreas S_i das n superfícies da sala com seus respectivos coeficientes de absorção sonora α_i mais o coeficiente de absorção dos objetos.

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + A_{obj} \quad (10)$$

A ABNT NBR 15575:2013 classifica o desempenho acústico por meio da diferença padronizada de nível **ponderada**, que classifica as diferenças de nível padronizadas das diferentes frequências em um único número (DnT,w) para facilitar a compreensão e classificação do desempenho acústico. Essa ponderação é feita através da norma internacional ISO 717-1:2013.

Antes de realizar o procedimento descrito na norma, é necessário arredondar os resultados da DnT para uma casa decimal. Em seguida, esses valores são comparados com os de referência da Tabela 10, fornecido na norma ISO 717-1:2013.

Tabela 10 – Valores de referência para isolamento do ruído aéreo

FREQUÊNCIA (Hz)	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)	
	Bandas de 1/3 de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	

160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Fonte: ISO 717:2013

Para obter os valores ponderados de D_{nT} ($D_{nT,w}$), é necessário deslocar a curva de referência em intervalos de 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis ou deficiências com relação à curva medida seja o mais próximo possível de 32,0 dB mas não superior a esse valor, para medição em 16 bandas de 1/3 de oitava. Ocorre um desvio desfavorável em uma frequência em particular quando o valor da curva de medições é inferior ao valor da curva de referência, após deslocada. Apenas os desvios desfavoráveis devem ser levados em conta.

O valor único da diferença padronizada de nível **ponderada** ($D_{nT,w}$) é o valor, em dB, da curva de referência em 500 Hz, após deslocada. Os valores mínimos do $D_{nT,w}$ estão especificados na Tabela 11, de acordo com o sistema de vedação.

Tabela 11 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes para sistema de vedação

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45

Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades).	≥ 40

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Portanto, como a medição foi realizada entre duas suítes de unidades habitacionais autônomas vizinhas, o valor de DnT,w devia ser de, no mínimo, 45 dB, como especificado na segunda linha da Tabela 11: “Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de desempenho térmico e acústico, realizados na edificação estudada, construída em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos.

4.1 Desempenho térmico

De acordo com a norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013, deve ser verificado se os dias que antecederam a data da medição apresentaram características semelhantes de temperatura. Observa-se, portanto, na Tabela 12 que esse requisito foi atendido, como demonstrado pelos valores máximos e mínimos de temperatura para os dias em questão, que foram aproximados. Os dados históricos completos de temperatura externa para os dias analisados encontram-se no Anexo A.

Tabela 12 – Valores máximos e mínimos de temperatura externa para os dias analisados

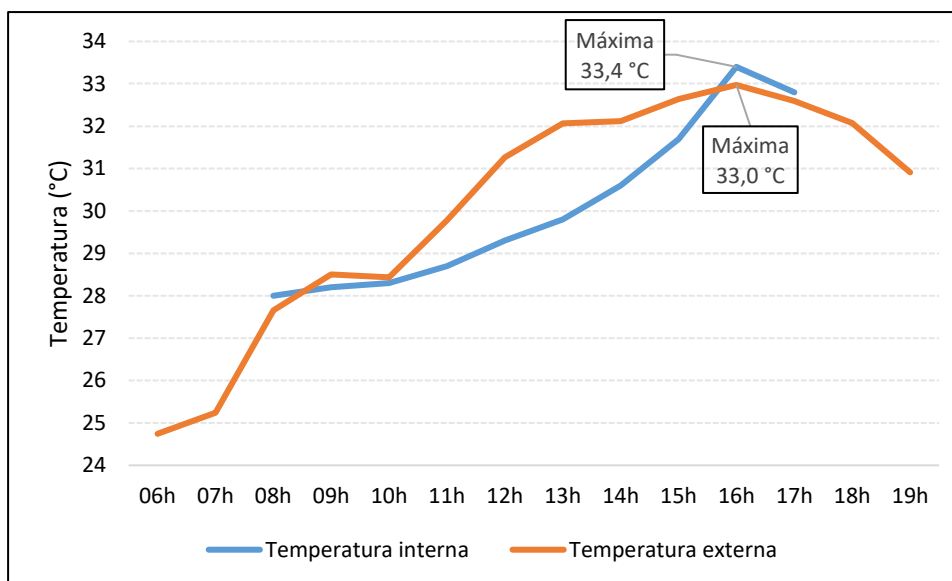
Dia	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
26/09/2021	22,5 °C	30,5 °C
27/09/2021	22,7 °C	31,8 °C
28/09/2021 (data da medição)	24,5 °C	33,0 °C

Fonte: Estação meteorológica LABMET-UFT/SONDA-INPE

A medição ocorreu no dia 28/09/2021, das 08h às 17h com intervalo de 1h entre uma medição e outra, no quarto com a porta fechada durante todo o período, e sem nenhuma fonte interna de calor que pudesse interferir no resultado. A medição foi feita nessa parte do dia porque era o período que a obra estava funcionando e disponível para realizar o ensaio. Contudo, como o período mais quente do dia está compreendido nesse intervalo de tempo, não houve interferência na análise do resultado, visto que os dados utilizados para isso são as temperaturas máximas do dia.

A Figura 20 mostra o gráfico das temperaturas interna e externa na data da medição. Os dados detalhados da temperatura externa encontram-se no Anexo A, enquanto que os valores medidos da temperatura no interior da edificação são apresentados na Tabela 13.

Figura 20 – Temperatura do ar no dia 28/09/2021



Fonte: Autor

Tabela 13 – Histórico de temperatura interna no dia 28/09/2021

Horário	Temperatura interna (° C)
08h	28,0
09h	28,2
10h	28,3
11h	28,7
12h	29,3
13h	29,8
14h	30,6
15h	31,7
16h	33,4
17h	32,8

Fonte: Autor

Para que a edificação apresente desempenho térmico satisfatório, o requisito mínimo exigido pela ABNT NBR 15575:2013, como mostrado na Tabela 08, é que a temperatura interna máxima do dia seja menor ou igual à temperatura máxima externa. Na medição, verificou-se que a temperatura máxima ocorreu às 16h aproximadamente, onde a temperatura interna foi de 33,4 °C, enquanto a temperatura externa máxima foi de 33,0 °C. Diante disso, pode-se concluir que a edificação não apresentou desempenho térmico satisfatório, chegando a uma temperatura 0,4 °C superior à externa, e não atendendo, portanto, aos requisitos estabelecidos.

Os blocos cerâmicos são conhecidos por fornecerem bom desempenho térmico às edificações por causa da sua característica de possuir baixa transmitância térmica, isto é,

possuem baixa transmissão de calor por unidade de tempo. Dessa forma, outros fatores podem ter contribuído para que a edificação não cumprisse com os requisitos de desempenho térmico.

Uma hipótese é que o vidro da janela do ambiente medido tenha contribuído para a incidência de calor para o interior da edificação a partir da radiação solar. Como defende Omar (2011), os vidros tem a propriedade de compartilhar elevadas radiações solares para o núcleo do ambiente, de forma que uma vez dentro, o calor encontra dificuldade para sair.

Como mostra a Figura 13, a janela de vidro da suíte é voltada para o oeste, recebendo a radiação solar direta na parte da tarde, quando o sol está se pondo. Dessa forma, no período em que o imóvel atingiu sua maior temperatura, por volta das 16h, o sol estava atingindo diretamente a janela de vidro, o que pode ter contribuído para o não atendimento do desempenho térmico.

Outro fator que pode ter influenciado no não atendimento dos requisitos mínimos de temperatura no interior da edificação foi o fato de que tanto a porta quanto a janela permaneceram fechados durante todo o período de medição. Isso foi necessário para atender à metodologia determinada pela norma de desempenho.

Entretanto, tal medida fez com que não houvesse troca de ar no interior do quarto, contribuindo para o aumento de temperatura. Em situação de uso real, provavelmente o morador iria manter a janela aberta para preservar uma temperatura mais agradável advinda da renovação do ar do ambiente, caso não utilizasse nenhum aparelho condicionador de ar no local.

4.2 Desempenho acústico

Para a análise do desempenho acústico da edificação, a ABNT NBR 15575:2013 determina que, para o método adotado no presente trabalho, deve ser utilizado o procedimento descrito na ISO 140-4:1998 para encontrar a diferença de nível padronizada (DnT), que depende da banda de frequência, e em seguida, utilizando a ISO 717-1:2013, encontrar a diferença de nível padronizada ponderada (DnT,w), valor único utilizado para analisar o conforto acústico de acordo com a norma de desempenho.

Inicialmente, foi calculado o nível de pressão sonora médio (L) em ambos os ambientes para cada banda de frequência utilizado a equação 6 da metodologia. Posteriormente foi calculado a diferença do L da suíte receptora para o L suíte emissora, resultando na diferença de nível (D), em dB, para cada faixa de frequência. Com os valores de D encontrados, foi possível encontrar a diferença de nível padronizada (DnT) utilizando a equação 8 da metodologia. O memorial de cálculo do DnT encontra-se no Apêndice C.

A Tabela 14 mostra os valores de L para cada ambiente, além dos valores de D e de DnT, todos em dB em função da frequência. Nos Apêndice A e B constam de forma detalhada todos os valores aferidos em campo.

Tabela 14 – Parâmetros de desempenho acústico calculados

Frequência (Hz)	L emissora (dB)	L receptora (dB)	D (dB)	DnT (dB)
100	68,39	35,66	32,73	35,96
125	74,23	41,48	32,75	35,98
160	70,07	46,57	23,50	26,73
200	75,01	47,07	27,94	33,11
250	81,54	52,07	29,47	34,65
315	83,22	55,23	27,99	33,17
400	83,00	53,33	29,67	36,17
500	78,24	46,74	31,50	38,00
630	79,14	46,03	33,11	39,61
800	78,05	48,74	29,31	35,79
1000	77,2	48,60	28,62	35,10
1250	78,76	45,12	33,64	40,11
1600	86,01	46,02	40,00	45,90
2000	90,87	49,95	40,93	46,83
2500	88,07	48,51	39,56	45,46
3150	85,85	43,58	42,27	48,18

Fonte: Autor

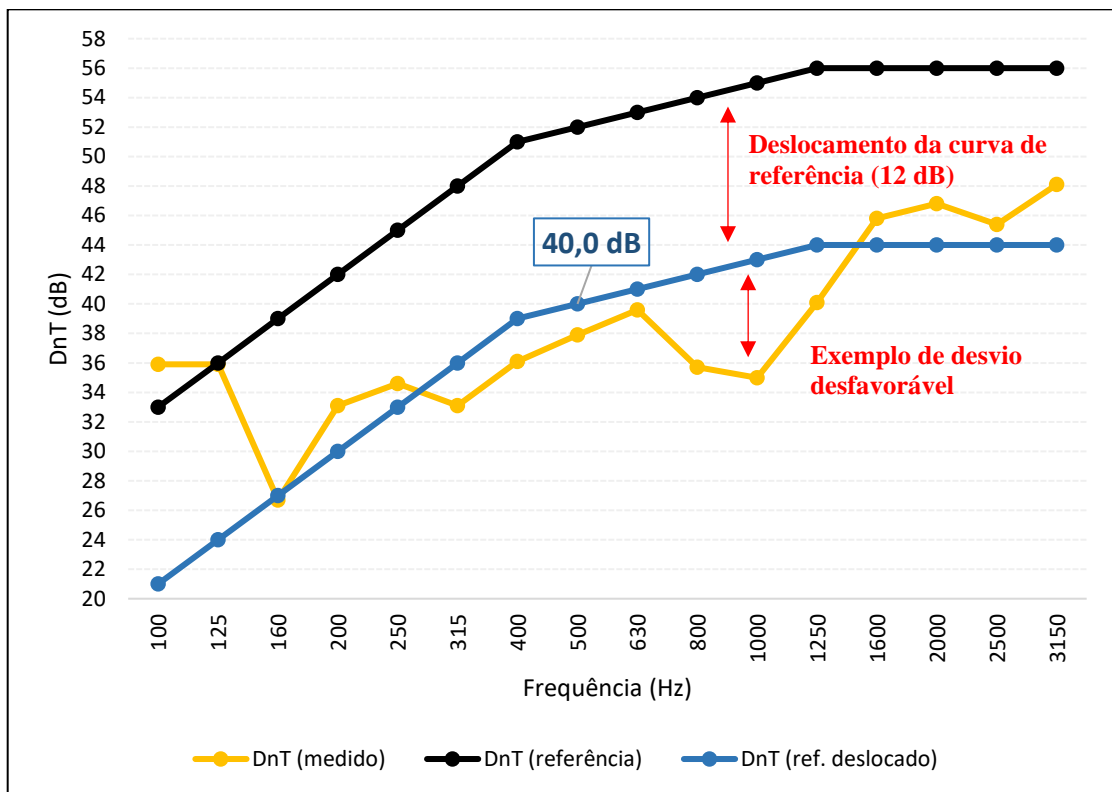
Para verificar se o desempenho acústico é satisfatório, foi necessário calcular o valor da diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w). Este é um valor único, que não é dado em função da frequência, utilizado para comparar com os requisitos mínimos da norma de desempenho. Essa ponderação é feita através da norma internacional ISO 717-1:2013.

Primeiramente, os valores de DnT foram arredondados para uma casa decimal e comparados com os valores de referência para bandas de 1/3 de oitava que constam na ISO 717-1:2013 e na Tabela 10. Posteriormente, foi deslocada a curva de referência em intervalos de 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis ou deficiências com relação à curva medida

fosse o mais próximo possível de 32,0 dB mas não superior a esse valor. No caso, a curva de referência foi deslocada 12 dB para baixo, até que a soma dos desvios fosse de 27,3 dB.

O valor único da diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w) é o valor, em dB, da curva de referência em 500 Hz, após deslocada. Portanto o DnT,w para o estudo em questão foi de 40 dB, como mostra o gráfico da Figura 21 e os valores detalhados da Tabela 15, com os desvios desfavoráveis indicados em vermelho.

Figura 21 – Curvas de DnT de referência, deslocado e medido



Fonte: Autor

Tabela 15 – Dados de DnT de referência, deslocado e medido e os desvios

Frequência (Hz)	DnT Referência (dB)	DnT Ref. Deslocado [-12 dB] (dB)	DnT Medido (dB)	Desvios (dB)
100	33,0	21,0	36,0	15,0
125	36,0	24,0	36,0	12,0
160	39,0	27,0	26,7	-0,3
200	42,0	30,0	33,1	3,1
250	45,0	33,0	34,7	1,7
315	48,0	36,0	33,2	-2,8
400	51,0	39,0	36,2	-2,8
500	52,0	40,0	38,0	-2,0

630	53,0	41,0	39,6	-1,4
800	54,0	42,0	35,8	-6,2
1000	55,0	43,0	35,1	-7,9
1250	56,0	44,0	40,1	-3,9
1600	56,0	44,0	45,9	1,9
2000	56,0	44,0	46,8	2,8
2500	56,0	44,0	45,5	1,5
3150	56,0	44,0	48,2	4,2

Fonte: Autor

Para que a edificação apresente desempenho acústico satisfatório, o requisito mínimo exigido pela ABNT NBR 15575:2013 para paredes entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório (Tabela 11), é que a diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w) seja maior ou igual a 45 dB. Na medição verificou-se que o DnT,w foi igual a 40 dB. Diante disso, pode-se concluir que a edificação não apresentou desempenho acústico satisfatório entre dormitórios de unidades vizinhas, chegando a um DnT,w 5 dB superior ao mínimo exigido pela norma de desempenho.

É importante observar também no espectro de frequências analisadas, qual foi a região mais problemática para identificar o perfil construtivo da edificação. No caso em questão, constata-se que os maiores desvios desfavoráveis foram na região dos 1000 Hz. Dessa forma, é possível utilizar essa informação para buscar soluções mais eficientes para melhorar o isolamento acústico, fazendo uso de técnicas e ferramentas que ajam no isolamento das frequências médias.

Para mitigar os problemas relacionados ao conforto acústico, uma opção seria optar por paredes duplas, especialmente nos locais mais críticos da edificação, onde são necessários maior isolamento de ruído. Essa técnica ajuda a diminuir a intensidade sonora que vem de outros ambientes devido à camada de ar presente entre as paredes, podendo ser utilizado também materiais de absorção acústica. A desvantagem desse procedimento é que diminui o espaço efetivo disponível para os moradores, sendo necessário encontrar o equilíbrio entre o espaço perdido e o ganho em isolamento sonoro.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no estudo realizado, verificou-se que a edificação, construída em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos na cidade de Palmas/TO, não obteve desempenho satisfatório quanto ao conforto térmico, apresentando temperatura interna cerca de 1,21% mais elevada que a externa quando a temperatura ambiente atingiu sua máxima, por volta das 16 horas. Para que o desempenho mínimo fosse atingido, a edificação deveria ter apresentado a temperatura interna inferior à externa durante todo o dia

Contudo, é importante ressaltar que construir edificações termicamente confortáveis na cidade de Palmas/TO é uma tarefa desafiadora, devido às altas médias de temperatura características da capital tocantinense. Dessa forma, a busca por alternativas construtivas em materiais de envoltória que ajudam na melhoria do desempenho térmico se faz cada vez mais importante, especialmente em locais com temperaturas elevadas como a capital tocantinense.

Quanto ao conforto acústico, a edificação também não atingiu os requisitos mínimos necessários de acordo com a norma de desempenho. Para que a edificação tivesse sido satisfatória nos ambientes analisados, o valor único da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) deveria ter sido de, no mínimo, 45 dB, enquanto que o valor encontrado foi de 40 dB.

No entanto, para outras situações, como as que não envolvem dormitórios por exemplo, observa-se que o desempenho encontrado atingiria o desempenho mínimo ou até mesmo o nível superior, como no caso de parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos.

Dessa forma, conclui-se que os ambientes que necessitam de maior conforto acústico - como dormitório, escritório e os locais cuja a norma de desempenho é mais rigorosa - necessitam de maior atenção ao serem projetados, fazendo uso de técnicas e ferramentas com materiais que protegem melhor o ambiente para que o isolamento acústico seja satisfatório. No caso da edificação estudada, é necessário atenuar o ruído das frequências médias entre os ambientes.

Diante dos resultados encontrados, foi confirmada a importância de se buscar melhores desempenhos nas edificações, visto que a edificação não foi satisfatória em nenhum dos dois critérios analisados. Vale ressaltar ainda que além dos níveis mínimos, a norma também apresenta níveis intermediário e superior que a edificação poderia ter atendido.

Quanto à alvenaria estrutural, suas vantagens fazem com que muitos imóveis sejam construídos utilizando esse método construtivo, tornando necessário mais estudos relacionados

ao seu desempenho, para que a sociedade e a construção civil evoluam, mantendo um padrão de conforto e segurança satisfatórios para seus usuários.

5.1 Limitações da pesquisa

1. A temperatura externa não foi medida no local da edificação, podendo haver alterações sensíveis de temperatura devido à mudança de região em que o equipamento estava instalado;
2. A geração de ruído branco no ensaio referente ao conforto acústico foi realizada com uma caixa acústica unidirecional, enquanto a norma recomenda que seja utilizada uma fonte sonora dodecaédrica (omnidirecional).

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

1. Comparativo do desempenho da alvenaria estrutural com o concreto armado;
2. Comparativo do desempenho da alvenaria estrutural construída em diferentes tipos de blocos;
3. Verificação dos efeitos práticos trazidos pela emenda da norma de desempenho;
4. Proposta de soluções com materiais tecnicamente adequadas para melhorar o desempenho das edificações nos diversos aspectos propostos pela norma;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H. N. De. **Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural**: Um estudo de caso. 1995. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

ARENDT, A. P. P. **Exigências de habitabilidade da ABNT NBR 15575**: Uma análise comparativa em projetos arquitetônicos. 2015. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 3: sistemas de pisos**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho – parte 5: sistemas de cobertura**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 16868: Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro. 2020.

_____. **NBR 16868: Alvenaria Estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro. 2020.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1985.

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

BUILDIN. **Tudo sobre a norma de desempenho**. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/norma-de-desempenho/>. Acesso em: 7 out. 2020.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira – SP, 2006.

CAVALHEIRO, O. P. **Alvenaria Estrutural: Tão antiga e tão atual.** Santa Maria, 2013. Universidade Federal de Santa Maria.

CORDOVIL, L. A .B. L. **Estudo da ABNT NBR 15575: “Edificações habitacionais – Desempenho”** e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro. 2013. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CORRÊA, H. A. **Estudo da ABNT NBR 15575: Análise de desempenho térmico, manutenibilidade, funcionalidade e acessibilidade em edificações habitacionais de acordo com a NBR 15575-1:2013.** 2018. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

DIAS, Adriana. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escola de tempo integral: Estudo de caso da escola Padre Josimo em Palmas (TO).** 2009. 141 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FALCÃO, P. G. **A viabilidade da alvenaria estrutural na produção de edifícios.** 2010. 84 p. Dissertação (Especialista em Avaliações e Perícias na Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FILHO, M. V. M. De O. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba - PR.** 2014. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FREITAS, Ygor; LORENZO, Raydel. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas-TO. **Revista Desafios**, Palmas, 2016, vol. 03, n. 02, 25p. 2016.

GONÇALVES, M. S. **NBR 15.575/2013: A qualidade das habitações sociais frente à nova norma de desempenho.** 2014. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GONÇALVES, T. B. **Análise de desempenho térmico segundo a NBR 15.575/2013 em protótipos em Palmas-TO: Comparação entre a telha cerâmica e a telha de concreto.** 2020. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

HIGHMED (São Paulo-SP). **Termômetro de Globo Digital com Datalogger - HMTGD-1800.** São Paulo-SP: Highmed, [20--?]. Disponível em: <https://www.highmed.com.br/hmtgd-1800-termometro-de-globo-digital-com-datalogger/p>. Acesso em: 15 jul. 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1: Acoustic – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.** Geneva, 1996.

_____. **ISO 140-4: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.** Genève, 1998.

_____. **ISO 7730: Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** Genève, 1994.

KAPPAUN, Kamila. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira.** 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2012.

LAGE, Rangel. **Palestra: Norma de desempenho x Alvenaria Estrutural.** 14 fev. 2020. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=RjIsBtQA9wA>>. Acesso em: 21 jan. 21.

LINS, F. U. **Análise de alternativas para melhoria do desempenho térmico de edifícios em alvenaria estrutural em face da norma brasileira 15.575.** 2012. 63 p. Monografia de especialização (Pós Graduação em Gerenciamento de Obras, Departamento Acadêmico de Construção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MICHALSKI, R. L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações.** 2011. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural: Materiais, projeto e desempenho.** São Paulo: Blucher, 2015. 299 p. ISBN 978-85-212-0796-2.

MORAIS, H. C. De. **Avaliação da aplicabilidade da norma ABNT NBR 15575/2013 em uma edificação no município de Palmas - TO.** 2017. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

NETO, N. A. Dos S. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.** 2006. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2006.

NEVES, F. F. **Edificações em Alvenaria Estrutural: Adequações à NBR 15.575.** 2015. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2015.

OMAR, Luciana Girardi. **Influência dos vidros no desempenho térmico e conforto ambiental em edificações de escritórios: Um estudo de caso.** Orientador: Bismarck Castillo Carvalho. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de edificações e ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

PAIXÃO, D. X. Da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA).** 2002. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PEREIRA, A. X. **Conforto acústico em residências multifamiliares.** 2016. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

POZZOBON, M. AA. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de Alvenaria Estrutural.** 2003. 307 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2003.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, nov 2008. 169 p. ISBN 85-7266-147-6.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2005.

REZENDE, Jardel Masciocchi Silva *et al.* **O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15 575: Isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo**. Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Cascudo. 2014. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SILVA, K. F. F.; NOGUEIRA, M. F. T. **Estudo de caso: Análise e implementação da Norma de Desempenho 15575/2013**. 2017. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2017

SILVEIRA, F. M. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 e ASHRAE 55**. 2014. 240 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Unicamp, Campinas, 2014.

SOUZA, L. C. L. De; ALMEIDA, M. G. De; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: Ouvindo a arquitetura**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 148 p.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, abr 2010. 185 p. ISBN 978-85-7266-226-0.

APÊNDICE A – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NO AMBIENTE EMISSOR

F1	Frequência (Hz)															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
S1	67,2	77,5	69,4	70,6	77,2	83,4	82,5	76,9	79,3	77,6	75,8	77,3	85,0	88,4	85,5	85,0
S2	62,8	68,9	70,1	72,3	83,1	82,8	82,3	76,0	80,1	77,7	77,6	79,6	85,9	90,2	87,9	85,1
S3	70,7	75,9	67,5	73,8	82,6	82,2	82,4	81,0	79,4	79,2	78,5	79,3	86,1	90,6	88,0	86,3
S4	67,4	68,6	71,1	75,3	82,0	81,6	82,2	76,9	77,9	77,5	76,9	78,3	85,5	90,3	87,8	86,7
S5	63,9	75,0	70,2	73,3	82,7	84,5	84,1	77,6	79,1	77,2	76,5	78,2	84,5	90,4	87,5	85,0

F2	Frequência (Hz)															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
S1	63,8	73,8	72,0	78,6	78,5	80,7	84,1	77,0	78,4	76,5	76,1	78,9	86,1	91,1	88,5	85,2
S2	66,4	71,0	68,1	76,5	81,7	84,6	84,3	79,1	77,9	78,1	76,4	78,3	85,7	91,6	88,5	86,8
S3	73,5	76,1	69,7	75,4	80,4	83,9	84,4	77,6	80,0	77,2	77,6	79,1	85,9	91,6	88,1	86,3
S4	67,1	71,3	70,2	74,1	81,5	81,8	78,9	78,4	77,1	78,9	78,3	78,6	87,0	90,2	88,1	84,3
S5	69,0	75,1	70,6	75,0	82,4	84,7	82,3	79,4	80,8	79,6	77,6	79,5	87,6	92,9	89,7	86,9

RUÍDO DE FUNDO	-	17,2	24,1	24,1	27,2	21,7	17,8	19,5	17,5	19,5	21,1	20,9	20,4	20,3	19	23,7
-----------------------	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----	------

APÊNDICE B - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NO AMBIENTE RECEPTOR

F1	Frequência (Hz)															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
S1	34,2	37,3	43,7	37,6	46,7	52,2	50,6	43,9	45,9	49,5	50,5	47,2	45,0	47,2	45,2	39,6
S2	35,2	35,4	41,5	47,6	52,1	49,1	50,6	45,1	46,1	50,0	49,4	46,7	46,3	46,6	45,0	40,8
S3	28,3	36,8	42,3	41,9	45,9	51,1	50,6	42,4	44,2	48,3	50,5	47,3	46,2	46,7	44,9	39,9
S4	31,5	33,3	43,8	36,0	45,1	48,2	50,5	46,3	45,2	51,1	50,0	46,4	46,1	48,0	46,3	39,9
S5	34,2	33,1	43,2	40,1	47,6	47,9	48,1	44,1	45,7	50,7	49,9	47,0	47,2	48,4	45,9	41,3

F2	Frequência (Hz)															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
S1	39,3	47,3	51,6	43,6	50,6	58,1	54,6	46,1	46,8	46,6	45,8	42,3	46,3	51,3	50,1	45,3
S2	34,7	35,6	41,1	51,0	53,4	54,4	56,6	48,9	45,6	46,1	46,2	42,0	45,8	50,7	49,3	45,6
S3	37,6	37,6	41,3	51,1	54,8	57,7	56,8	48,3	46,8	48,8	46,8	41,5	45,4	51,6	50,7	45,8
S4	34,7	47,4	52,3	45,3	52,0	59,3	51,4	48,8	47,3	45,7	45,8	41,3	46,0	51,2	50,3	46,0
S5	37,8	36,9	41,3	50,2	56,8	56,7	54,3	48,3	45,9	46,6	46,9	42,6	45,5	52,6	50,8	44,1

RUÍDO DE FUNDO	18,0	14,1	20,8	24,4	20,2	17,5	17,9	19,9	19,7	21,9	22,9	21,1	21,7	19,5	17,6	17,2
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

APÊNDICE C - MEMORIAL DE CÁLCULO DO DnT

Para calcular o valor de DnT, é necessário encontrar primeiramente a área de absorção sonora equivalente no ambiente receptor, que é dado por:

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + A_{obj}$$

Como o ambiente estava vazia, o valor de A_{obj} foi nulo.

As áreas (S) consideradas foram:

Área de piso: 10,125 m²

Área de teto: 10,125 m²

Área total das paredes: 33,09 m²

Área das portas de madeira: 3,36 m²

Área das portas de vidro: 2,10 m²

Os valores de coeficiente de absorção sonora (α) foram obtidos do departamento de tecnologia do laboratório de controle ambiental (LACAM) da FAU/UnB. Eles estão descritos em bandas de oitava e foram replicados para as faixas de frequências vizinhas das bandas de 1/3 de oitava.

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000
α piso	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
α teto	0,30	0,12	0,08	0,06	0,06
α parede	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
α porta madeira	0,14	0,16	0,06	0,10	0,10
α porta vidro	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02

Portanto, o valor de A foi obtido pela soma das áreas multiplicado pelos respectivos coeficientes para cada faixa de frequência.

Encontrados os valores das áreas de absorção sonora equivalente no ambiente receptor (A), é necessário calcular o tempo de reverberação (T), dado pela fórmula de Sabine. O volume (V) da suíte é de 30,375 m³, sendo 10,125 m² de piso por 3m de pé direito.

$$T = 0,161 \frac{V}{A}$$

A partir dos valores de T encontrados, é possível calcular a diferença de nível padronizada utilizando a fórmula abaixo. O tempo de reverberação de referência T_0 para habitações é de 0,5s, como recomendado pela norma.

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0}$$

Na tabela a seguir consta o resumo de todas as variáveis encontradas, dividido por faixa de frequência.

Frequência (Hz)	A (m²)	T (s)	DnT (dB)
100	4,65	1,05	35,96
125	4,65	1,05	35,98
160	4,65	1,05	26,73
200	2,97	1,65	33,11
250	2,97	1,65	34,65
315	2,97	1,65	33,17
400	2,19	2,23	36,17
500	2,19	2,23	38,00
630	2,19	2,23	39,61
800	2,20	2,22	35,79
1000	2,20	2,22	35,10
1250	2,20	2,22	40,11
1600	2,51	1,95	45,90
2000	2,51	1,95	46,83
2500	2,51	1,95	45,46
3150	2,51	1,95	48,18

ANEXO A – HISTÓRICO DE TEMPERATURA AMBIENTE EM PALMAS/TO

Horário	Temperatura (°C)		
	26/09/2021	27/09/2021	28/09/2021
00h	23,63	22,66	25,50
01h	23,43	23,16	25,58
02h	23,31	23,11	24,55
03h	23,23	23,23	24,54
04h	23,11	23,26	24,85
05h	23,08	22,88	24,67
06h	22,84	23,22	24,74
07h	23,55	24,55	25,24
08h	23,86	25,09	27,66
09h	26,44	26,62	28,50
10h	27,63	27,11	28,43
11h	29,31	27,88	29,78
12h	30,06	29,44	31,27
13h	30,19	30,91	32,07
14h	30,47	31,76	32,12
15h	27,10	28,14	32,64
16h	23,53	29,04	32,97
17h	24,23	29,26	32,59
18h	25,28	28,95	32,07
19h	25,28	28,25	30,91
20h	24,88	27,24	30,46
21h	24,33	26,45	28,52
22h	23,27	25,61	27,95
23h	22,49	25,36	26,87

Fonte: Estação meteorológica LABMET-UFT/SONDA-INPE