

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**SANDRA ARAÚJO FERREIRA**

**ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO NAS ALVENARIAS**

**FORMIGA - MG**  
**2015**

SANDRA ARAÚJO FERREIRA

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO NAS ALVENARIAS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Tiago de Moraes Faria Novais.

FORMIGA - MG

2015

A663 Araújo, Sandra Ferreira.  
Estudo do desempenho térmico e acústico nas alvenarias / Sandra  
Araújo Ferreira. – 2015.  
67 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro  
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2015.

1. Norma de desempenho. 2. Desempenho térmico. 3. Desempenho  
acústico. I. Título.

CDD 620.2

Sandra Araújo Ferreira

## ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO NAS ALVENARIAS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.



Formiga, 12 de novembro, 2015

*" Mas, buscai primeiro o reino de Deus, e a sua justiça, e todas estas coisas vos serão acrescentadas.  
Não vos inquieteis, pois, pelo dia de amanhã, porque o dia de amanhã cuidará de si mesmo. Basta a cada dia o seu mal. "*

*Mateus 6:33-34*

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos:

À Deus meu Pai misericordioso, por me dar forças pra lutar e coragem para não desistir.

À minha Mãe pelo amor e paciência.

Ao meu Namorado que é parte que me faz forte.

Ao professor e orientador deste trabalho, Me. Tiago, zeloso mestre, dedicado, empreendedor em multiplicar conhecimentos.

À amiga e Ma. Dayana, seus ensinamentos foram cruciais para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A ABNT NBR 15575:2013 tem como foco principal avaliar e regular o desempenho de edificações por meio de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos) e métodos de avaliação, que se resumem em: análise de projeto, simulação computacional, ensaios e inspeções técnicas, que permitem a mensuração do seu atendimento. Baseado nesta norma este trabalho apresenta um estudo do desempenho térmico e acústico das alvenarias, segundo os critérios estabelecidos pela mesma. Usou-se como metodologia a confrontação de resultados de alguns estudos já realizados com os parâmetros estabelecidos pela norma citada para avaliação utilizando o método simples do desempenho térmico e acústico das alvenarias. Os resultados foram apresentados em forma de tabelas, e demonstraram que 36,84% das alvenarias submetidas a ensaios para avaliação do desempenho acústico mínimo obtiveram êxito e 66,66% alcançaram o mínimo desejado no método simples do desempenho térmico. Conclui-se que, ainda tem muito o que melhorar em termos de desempenho térmico e acústico das edificações, para proporcionar aos usuários níveis mínimos de conforto em suas habitações.

Palavras-chave: Norma de desempenho. Desempenho térmico. Desempenho acústico.

## **A B S T R A C T**

NBR 15575:2013 focuses primarily on evaluating and regulating the performance of buildings through requirements (qualitative), criteria (quantitative) and evaluation methods , which are summarized in: project analysis, computer simulation, testing and technical inspections, which allow the measurement of its care. Based on this standard this work presents a study of the thermal and acoustic performance of the masonry according to the criteria established by the same. It was used as methodology results from the confrontation from some previous studies with the parameters set by the rule cited by the simple method for evaluating the thermal and acoustic performance of masonry. The results were presented in spread sheets, and showed that 36.84 % of masonry submitted to tests for minimum acoustic performance evaluation were successful and 66.66 % achieved the minimum required in simple thermal performance method. It can be conclude that, still has much for improvement in terms of thermal and acoustic performance of buildings to provide minimum levels of user comfort in their habitation.

Keywords: Standard performance. Thermal performance. Acoustic performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bloco Cerâmico .....	24
Figura 2: Bloco Sílico – Calcário .....	26
Figura 3: Modelo de bloco cerâmico estrutural.....	26
Figura 4: Bloco de concreto estrutural.....	27
Figura 5: Bloco de vedação de concreto .....	28
Figura 6: Bloco Solo Cimento.....	29
Figura 7: Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro .....	33
Figura 8: Comportamento de incidência de energia.....	41
Figura 9: Transmissão sonora entre salas. ....	43
Figura 10: Etapas da revisão bibliográfica.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência à compressão – Classes de blocos sílico-calcários.....	25
Tabela 2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas).....	38
Tabela 3 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para algumas portas e janelas.....	44
Tabela 4 - Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada, DnT, w, entre ambientes.....	50
Tabela 5 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, DnT, w para ensaio de campo.....	50
Tabela 6 - Resultados de diferença padronizada de nível ponderada dos ensaios realizados por Nascimento Michalski (2011).....	51
Tabela 7 - Valores da diferença padronizada de nível para cada parede avaliada por Toshiko Yubiku (2011).....	51
Tabela 8 – Resultados das diferença padronizada de nível de paredes avaliadas por Ferreira Neto (2009).....	52
Tabela 9 – Comparativo dos resultados dos ensaios da diferença padronizada de nível das paredes com os valores da ABNT NBR 15575:2013.....	53
Tabela 10 – Transmitância térmica de paredes externas.....	54
Tabela 11 – Capacidade térmica de paredes externas.....	55
Tabela 12 – Resultado dos estudos de Teixeira Marques (2013) sobre transmitância térmica e absortância a radiação solar.....	55
Tabela 13 – Resultado dos estudos de Sorgato (2009) sobre transmitância térmica capacidade térmica e absortância a radiação solar.....	56
Tabela 14 – Resultado dos ensaios de Morishita (2011) sobre transmitância térmica capacidade térmica e absortância à radiação solar.....	56
Tabela 15 – Comparativo dos resultados dos ensaios de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das paredes com os valores da ABNT NBR 15575:2013.....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Influência da isolação acústica.....	45
--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\alpha$  – Absortância solar
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CT – Capacidade Térmica de um componente
- D – Diferença de Nível
- Dn – Diferença normalizada de nível
- Dnt – Diferença padronizada de nível
- DnT,w – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes
- e – Espessura do elemento
- I – Desempenho Intermediário
- IP – Índice de Plasticidade
- L1 – Média temporal e espacial da pressão sonora transmitida pela fonte na sala de emissão;
- L2 – Média temporal e espacial da pressão sonora da fonte na sala de recepção.
- LL – Limite de Liquidez
- M – Desempenho mínimo
- NI – Não informada
- PT – Perda de transmissão sonora
- R – Resistência térmica em camada homogêneas
- Rw – Índice de redução sonora
- S – Desempenho Superior
- T – Tempo de reverberação da sala de recepção;
- To – Tempo de reverberação de referência, que no caso das edificações considera-se To=0,5 segundos.
- $\tau$  – Coeficiente de transmissão sonora
- $\lambda$  – Condutividade térmica do material
- U – Transmitância térmica
- Wi – Potência sonora incidente
- Wt – Potência sonora transmitida

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: .....	41
Equação 2: .....	42
Equação 3: .....	43

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
2.3 Justificativa.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1 ABNT NBR 15575 .....	17
3.2 Alvenaria .....	20
3.2.1 Tipos de Alvenarias.....	20
3.2.2 Alvenaria Estrutural .....	21
3.2.3 Alvenaria de vedação .....	23
3.3 Unidades ou Blocos.....	23
3.3.1 Bloco Cerâmico .....	24
3.3.2 Bloco Sílico – Calcário (Sical) .....	24
3.3.3 Bloco Cerâmico Estrutural.....	26
3.3.4 Bloco Concreto Estrutural.....	27
3.3.5 Bloco de Vedação de Concreto.....	27
3.3.6 Bloco Solo Cimento .....	28
4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	30
5 DESEMPENHO TÉRMICO .....	32
5.1 Propriedades Térmicas .....	35
5.1.1 Condução .....	36
5.1.2 Convecção .....	36
5.1.3 Radiação .....	36
5.2 Transmitância térmica .....	37
5.3 Resistência térmica .....	37
5.4 Absortância solar.....	37
6 DESEMPENHO ACÚSTICO .....	39
6.1 Propriedades acústicas .....	40
6.1.1 Diferença de nível padronizada.....	41
6.1.2 Índice de redução sonora .....	42

6.1.3 Isolamento acústico .....	44
7 METODOLOGIA.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	49
8.1 Nível de desempenho mínimo ABNT 15575:2013 .....	49
8.2 Análise de desempenho acústico.....	49
8.3 Análise de desempenho térmico .....	54
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

Recentemente no Brasil houve um crescimento com a preocupação do desempenho mínimo das edificações e isso foi evidenciado com a publicação da ABNT NBR 15575, norma que estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os principais sistemas que compõe as edificações Brasileiras. A norma citada teve sua primeira versão publicada pela ABNT em 2008, como resultado da preocupação expressa da população com o conforto de suas edificações, a mesma foi revisada em 2010, 2012 e 2013, entrou em vigor a partir de 19 de julho de 2013, cancelando e substituindo a edição anterior. Destaca-se que uma norma de desempenho como é o caso da ABNT NBR 15575 vem de encontro com a necessidade de satisfazer as necessidades dos usuários e proprietários, tornar reais as práticas de sustentabilidade nas construções e facilitar a comunicação de todos os envolvidos.

Em consequência do desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, têm-se multiplicado as fontes sonoras no exterior e interior das edificações, o que tem conduzido à ambientes habitacionais com níveis sonoros cada vez mais elevados e devido ao aumento das poluições aumenta-se também as temperaturas no verão e diminuindo no inverno.

Segundo CBIC (2013), as edificações evoluíram no decorrer do tempo, sendo que novos materiais, mais leves e esbeltos, foram introduzidos na construção civil. Esses materiais reduziram a carga nas estruturas e também as espessuras das alvenarias, trazendo para a obra uma economia, porem com essas mudanças, o desempenho térmico e acústico decresceu, estando uma vez encerrada a obra, as alternativas para eliminar os desconfortos diminuem e as medidas para minimização dos mesmos serão apenas paliativas.

Neste contexto entende-se facilmente a necessidade de se aplicar os requisitos de desempenho nas edificações habitacionais brasileiras.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar o desempenho térmico e acústico das alvenaria estrutural e alvenaria de vedação, de acordo com as especificações proposta pela ABNT NBR 15575:2013.

#### **2.1.1 Objetivos específicos**

Apresenta-se em objetivos específicos os seguintes itens:

- Alcançar um estudo de interface fácil das propriedades térmicas e acústicas das alvenarias;
- Comparar as propriedades térmicas e acústicas das alvenarias encontradas em pesquisas acadêmicas e verificar se existe ou não conformidade diante dos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013;
- Identificar as dificuldades de aplicação da norma citada nas habitações brasileiras.

### **2.2 Justificativa**

É opinião comum que a arquitetura das habitações deve satisfazer o homem, seu conforto e sua comodidade. O conforto térmico e acústico das habitações brasileiras podem não atender as necessidades dos usuários, tendo em vista que os construtores e engenheiros se preocupam com sustentabilidade, racionalização, otimização de tempo e custo, como se rege na engenharia civil, porém segundo reclamações dos usuários tem existido a falha quando se trata de desempenho térmico e acústico nas habitações. Há grande resistência por parte da população de forma geral em adotar novas tecnologias e medidas preventivas que eliminem esses desconfortos ainda na fase de projeto, que vem de encontro com a necessidade

atual do mercado e os requisitos mínimos exigidos na norma ABNT NBR 15575:2013.

Diante da situação atual, com poucos trabalhos abordando o tema, e da escassez de resultados disponíveis, a presente pesquisa visa contribuir para a disseminação da ABNT NBR 15575:2013, e contribuição para futuros trabalhos, sendo assim considera se a aplicação da norma pertinente ao desempenho térmico e acústico em obras de até cinco pavimentos um importante gerador de melhorias para a população Brasileira.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho apresenta uma breve revisão de literatura para a fundamentação teórica, esta é a base para as discussões e resultados deste.

#### 3.1 ABNT NBR 15575

Conhecida como “Norma de Desempenho”, a ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho passou a vigorar no dia 19 de julho de 2013.

Institui parâmetros técnicos para vários requisitos importantes de uma edificação e tem como característica estabelecer as responsabilidades de cada um dos envolvidos em um processo de construção: construtores, incorporadores, projetistas, fabricantes de materiais, administradores condominiais, próprios usuários e o governo.

O foco da ABNT NBR 15575:2013, está nos requisitos dos usuários para o edifício habitacional e de seus sistemas, quanto ao comportamento em uso e não na especificação de como os sistemas devem ser elaborados e/ou construídos.

Segundo CBIC (2013), para os consumidores, esta Norma vai ao encontro do que eles buscam na hora de realizar o sonho da casa própria. Quando uma pessoa adquire um imóvel, está procura conforto, estabilidade, vida útil adequada da edificação e segurança estrutural e contra incêndios.

A ABNT NBR 15575:2013 foi redigida conforme modelos internacionais de normalização, sendo implantada no Brasil para suprir a necessidade de uma norma brasileira que oferecesse parâmetros mínimos de desempenho de uma edificação. De acordo com CBIC (2013) o conjunto normativo compreende seis partes, que representam:

- Parte 1: os requisitos gerais;
- Parte 2: os requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: os requisitos para os sistemas de pisos;

- Parte 4: os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: os requisitos para sistemas de cobertura;
- Parte 6: os requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Segundo CBIC (2013, p. 29) "normas de desempenho definem as propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independentemente do material constituinte". Ainda de acordo com CBIC (2013) as normas de desempenho tentam fixar os requisitos necessários para a obtenção do desempenho mínimo focando-nos diferentes elementos de construção como um todo, independente dos materiais empregados.

A ABNT NBR 15575-4:2013 - Edificações Habitacionais - define os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas e está subdividida em: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade.

- **Desempenho estrutural:** Segundo a ABNT NBR 15575:2013, a estrutura deve apresentar nível de segurança, sem que haja comprometimento da utilização da obra por fissuração ou deformações excessivas, comprometimento da durabilidade da estrutura ou ocorrências de falhas localizadas que possam os níveis de desempenho previstos para a estrutura, considerando as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante a vida útil da edificação habitacional ou sistema.
- **Segurança contra incêndio:** Segundo a ABNT NBR 15575:2013, com relação à segurança contra incêndio, visa-se em primeiro lugar, a integridade física das pessoas e depois, a própria segurança patrimonial. Além disso, objetiva-se também dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e evitar a geração de fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio e o acesso dos bombeiros.

- **Segurança no uso e na operação:** Segundo a ABNT NBR 15575:2013 a segurança no uso dos sistemas e componentes da edificação habitacional deve ser considerada em projeto, em especial ao que se referencia a presença de agentes agressivos (que pode ocorrer com o emprego de materiais ou execução de sistemas que contenham pontas e bordas cortantes, provoquem queimaduras). As instalações devem incorporar se com a deformabilidade das estruturas, interações com o solo e características físico-químicas dos demais materiais de construção.
- **Estanqueidade:** Ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes. A durabilidade da obra esta diretamente ligada a estanqueidade à água de seus elementos, afim de evitar processos deletérios de materiais e seus componentes, especialmente no controle da proliferação de fungos, doenças respiratórias e outras (ABNT NBR 15575:2013).
- **Desempenho térmico:** Segundo a ABNT NBR 15575:2013, todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base nas condições naturais de insolação, ventilação entre outras. O desempenho térmico satisfatório repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades comuns em uma habitação, contribuindo também para a economia de energia.
- **Desempenho acústico:** Esta parte da ABNT NBR 15575:2013, apresenta os critérios e requisitos para a verificação do isolamento acústico entre os meios internos e externos, entre unidades independentes e entre partes de uma mesma unidade.
- **Desempenho lumínico:** A ABNT NBR 15575:2013, estipula níveis requeridos de iluminância natural e a artificial nas habitações. O desempenho lumínico pode ser melhorado ou até mesmo obtido mediante a diversos recursos, como, aplicação de cores claras nos tetos e paredes adoção de caixilhos com áreas envidraçadas relativamente grandes.

- **Durabilidade e manutenibilidade:** Segundo a ABNT NBR 15575:2013, fissuras, falhas e deslocamentos nas paredes externas devem ser limitados, em função de ciclos de exposição as intempéries ambientais que ocorrem durante a vida útil de uma habitação. A durabilidade de uma edificação depende de vários fatores que agem isolados ou conjuntamente, desde o início do projeto até os cuidados comuns de limpeza, conservação e uso. A norma citada, estabelece que todos os componentes, elementos e sistemas devem manter sua capacidade funcional durante toda a vida de útil do projeto.

## 3.2 Alvenaria

Conforme Kalil (2007), alvenaria é um sistema construtivo tradicional utilizado a milhares de anos, estima-se que as primeiras construções foram feitas há 10.000 (a.c). Inicialmente, o principal elemento de alvenaria era os blocos de rocha. Os Blocos começaram a serem feitos a partir de 4000 a.c., notou-se que a argila era um material que quando úmido apresenta características plásticas, de fácil moldagem, logo deformáveis, podendo assim usá-la para a fixação de um elemento no outro. Com o passar dos anos várias obras importantes foram construídas com alvenaria, atravessando gerações e sendo ainda hoje um marco na construção civil. De acordo com Manzione (2007), alvenaria é o conjunto de peças justapostas, coladas em sua interface por uma argamassa apropriada, formando assim um elemento vertical coeso. Este serve para vedar espaços, resistir às cargas de gravidade, cargas adicionais, peso próprio, cargas de vento, resistir a impactos, à ação do fogo, isolar e proteger acusticamente os ambientes, contribuir para a manutenção do conforto térmico, além de impedir a entrada de vento e chuva no interior dos ambientes.

### 3.2.1 Tipos de Alvenarias

Existem diferentes sistemas estruturais a serem adotados durante a concepção do projeto de uma edificação. A escolha do sistema adequado se dá em função do uso da edificação, de custos e recursos.

Interessa-se referir a seguir alvenaria estrutural e de vedação.

### **3.2.2 Alvenaria estrutural**

Quando devidamente planejada e executada, a alvenaria estrutural tem a capacidade de suportar todas as cargas, incluindo assim a de seu próprio peso, lajes, coberturas além de ser resistente a intempéries externas, como chuvas e ventos. (ABNT NBR 8798:1985).

Define-se com alvenaria estrutural o processo construtivo no qual, os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma sensata e racional (COELHO, 1998). Segundo Franco e Agopyan (1994), alvenaria estrutural tem grande potencialidade de racionalização, principalmente pelos aspectos econômicos e pela facilidade de absorção de um sistema de coordenação modular e padronização de seus processos.

Este processo construtivo tem ganhado espaço no contexto da construção civil devido às várias vantagens como: economia e rapidez na construção, alto potencial de racionalização e produtividade, proporcionando a produção de construções com bom desempenho tecnológico e altos índices de qualidade e economia (RAMALHO; CORRÊA, 2003). A alvenaria estrutural, exige planejamento e profissionais qualificados sendo indispensável para a sua estabilidade, segurança e longevidade, exercendo juntamente funções estrutural e vedação em um só sistema. Utiliza medidas padrões de elementos construtivos, que são produtos paralelepipedais, industrializados, com peso e tamanhos compatível para serem manuseáveis pelo operador (ROMAN et al., 1999).

Segundo Rizzati (2011), o bloco estrutural governa as principais propriedades da alvenaria estrutural, e são os elementos compensadores para uma melhor adaptação. Estes devem apresentar cor homogênea e compacta, arestas vivas sem rachaduras ou fissuras que possam comprometer sua resistência e vida útil na obra. Rebello (2011) define bloco estrutural como um elemento em que as três dimensões apresentam a mesma ordem de grandeza. O bloco só serve como estrutura quando usado em associações nas quais as consequências de suas forças internas propendem a trazê-los para mais perto. Todas as etapas devem ser previamente

organizadas para que as peças estejam em perfeito estado de conservação, se encaixem de forma alternada, permitindo a instalação de todos os sistemas elétricos e hidrossanitários. A seguir serão caracterizados os principais tipos de blocos estruturais existentes, bloco cerâmico, bloco de vedação de concreto, bloco sílico-calcário (sical), bloco cerâmico estrutural, bloco concreto estrutural e bloco solo cimento.

No Brasil é mais encontrada em pequenos sobrados. A alvenaria estrutural é um dos métodos construtivos mais antigos já estudados, e vem ganhando espaço no mercado é capaz de sustentar projetos residenciais de 3 a 20 pavimentos (MANZIONE, 2007).

Qualquer alteração deve ser prevista ainda na fase de projeto e bem coordenadas na execução, principalmente as amarras com vergas e contravergas, que podem ser feitas com aço e concreto, e podem causar patologias se não forem feitas nos pontos corretos (ABNT NBR 6136:2010).

As alvenarias estruturais podem ser classificadas em:

- Alvenaria estrutural armada: é utilizada quando a alvenaria precisa ser reforçada devido a exigências estruturais. Assim a alvenaria possui armaduras colocadas em algumas das cavidades dos blocos e preenchidas com graute. A armadura é responsável por absorver os esforços solicitantes. Além de colaborar para a segurança contra cargas não previstas, impedindo o colapso progressivo (ABNT NBR 8798-1:1985).
- Alvenaria estrutural não armada: é Alvenaria que não necessita de armadura auxiliar nem de graute dentro de seus furos para serem considerados elementos portantes. Usualmente este tipo de alvenaria é chamado "autoportante" (ABNT NBR 14974:2003).
- Alvenaria estrutural parcialmente armada: quando parte da estrutura tem paredes com armaduras para resistir aos esforços calculados, além das armaduras com finalidade construtiva ou de armação, sendo as paredes restantes consideradas não armadas ou seja pode se encontrar elementos que são projetados como armados e outros como não armados (ABNT NBR 8798-1:1985).
- Alvenaria estrutural protendida: Segundo Tauil (2010, p. 23) "é um tipo de alvenaria reforçada por uma armadura ativa (pré tensionada) que submete a

alvenaria a esforços de compressão". Seu uso é viável quando se tem paredes sujeitas a esforços laterais, tais como a construção de edifícios com esforços de vento preponderante, muros de arrimo, reservatórios de água, silos, colunas para sustentação de grandes áreas de telhado (galpões industriais), paredes sujeitas a impactos acidentais, vigas, lajes e coberturas, painéis de fachada pré-moldados (CAMACHO, 2006). De acordo com Tauil (2010), esse tipo de alvenaria é menos usado, já que os materiais, dispositivos e mão de obra para a protensão têm custo muito alto para o padrão de construção Brasileira.

### **3.2.3 Alvenaria de vedação**

Ramalho e Corrêa (2003), definem como sistema convencional ou tradicional aquele formado por pilares, vigas e lajes de concreto, sendo os vãos preenchidos com tijolos cerâmicos ou de concreto para vedação. Neste caso, todas as cargas da construção são distribuídas nas lajes, vigas, pilares e fundações sendo a alvenaria apenas de vedação conhecidas como "não portantes".

Segundo Yazigi (2013), neste processo construtivo as possibilidades de criação de um projeto mais arrojado e a utilização de portas e janelas fora das medidas padronizadas são mais usuais. Apesar de mais oneroso a alvenaria convencional ou tradicional, permite realizar reformas posterior.

Depois das paredes prontas é preciso fazer cavidades para embutir as instalações hidrossanitárias e elétricas (ABNT NBR 8545:1984). Em sequência, deve ser iniciada a etapa de revestimento, caracterizada pela aplicação do chapisco, emboço, reboco e por fim a pintura.

### **3.3 Unidades ou Blocos**

Ramalho e Corrêa (2003), definem unidades (ou blocos), como componentes básicos da alvenaria, principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura. Quanto à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, as maciças são aquelas que possuem índice de vazios de até 25% da área total, se os vazios passarem desse limite, são classificadas como vazada.

No presente texto será usado o nome bloco, por ser mais frequentemente usado na região de Minas Gerais.

### 3.3.1 Bloco cerâmico

Blocos Cerâmicos são definidos como um componente de alvenaria em forma de um prisma reto possui furos prismáticos ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contém. A qualidade dos blocos cerâmicos está diretamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também ao processo de produção (ABNT NBR 15270-1:2005). Os blocos cerâmicos, também conhecidos por tijolos constituem peças produzidas com a matéria-prima argila, recebendo ou não aditivos, e apresentam coloração avermelhada.

Para a utilização de blocos maciços cerâmicos deve-se verificar as especificações presentes na ABNT NBR 7170:1983 (características visuais, geométricas e mecânicas), considerando os respectivos critérios de aceitação e rejeição.

Figura 1 - Bloco cerâmico



Fonte: Utintas - Maio, 2015

### 3.3.2 Bloco Sílico- Calcário (Sical)

De acordo com a ABNT NBR 14974-1:2003, Sílico- Calcário são blocos prismáticos, fabricados com cal e agregados finos, (predominantemente quartzo),

que depois da mistura íntima são moldados em peças, por pressão e compactação, sofrendo posteriormente endurecimento sob ação de calor e pressão de vapor.

Os blocos sílico-calcários são divididos em classes, de acordo com o valor de resistência à compressão, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Resistência à compressão - Classes de blocos sílico-calcários

<b>Resistência à compressão de blocos sílico-calcários</b>	
Classe	Resistência à compressão
Classe A	4,5 MPa
Classe B	6,0 MPa
Classe C	7,5 MPa
Classe D	8,0 MPa
Classe E	10,0 MPa
Classe F	12,0 MPa
Classe G	15,0 MPa
Classe H	20,0 MPa
Classe I	25,0 MPa
Classe J	35,0 MPa

Fonte: ABNT NBR 14974-1: 2003

Figura 2 - Bloco Sílico-Calcário

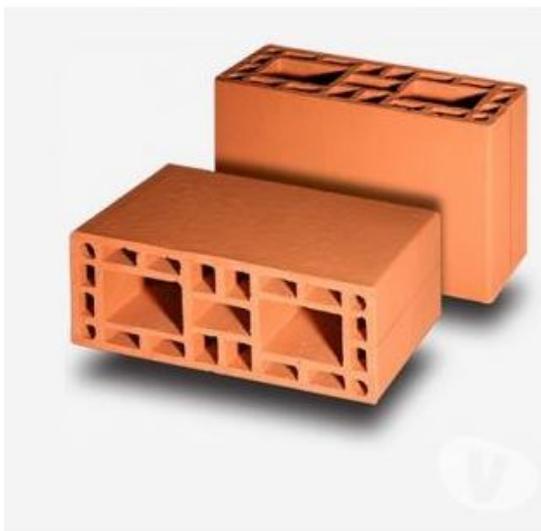


Fonte: Construindo org - Março, 2015

### 3.3.3 Bloco cerâmico estrutural

São unidades produzidas através da queima em fornos de argila. Sua moldagem é feita em máquinas extrusoras e sua porosidade pode ser desprezível por causa da sua sinterização quase perfeita (COELHO, 1998). A qualidade dos blocos está diretamente relacionada com a qualidade da argila em uso, podendo existir muitas discrepâncias entre a resistência dos blocos, fazendo-se necessários testes de caracterização das unidades (ROMAN, 1999).

Figura 3 - Modelo de bloco cerâmico estrutural

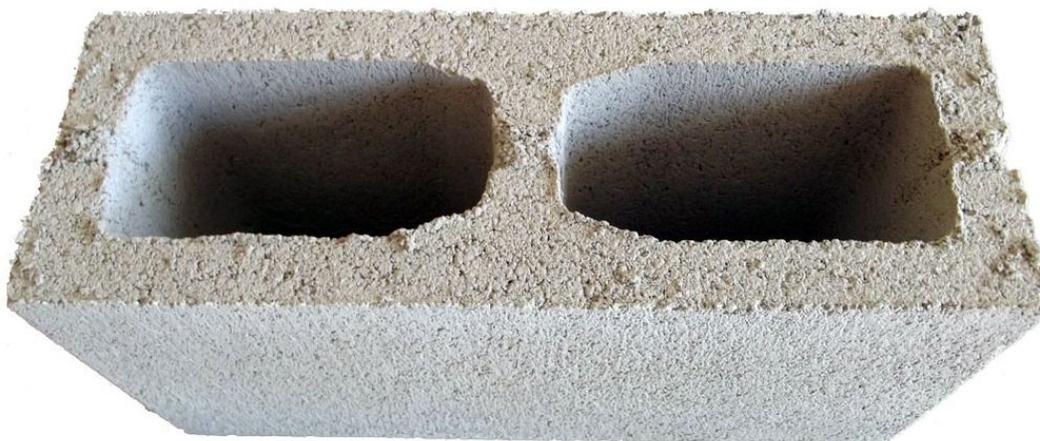


Fonte: Tudo construção - Maio, 2015

### 3.3.4 Bloco concreto estrutural

São unidades produzidas através da mistura de cimento Portland, água e agregados. Os agregados devem possuir dimensões inferiores a 25% da menor espessura das paredes do bloco (COÊLHO, 1998). São fabricados através de vibroprensagem e cura a vapor (MANZIONE, 2007). As dimensões dos blocos têm tolerância máxima de 3 mm, para mais ou para menos, e devem ser medidas com precisão de 0,5 mm (ROMAN, 1999).

Figura 4 - Bloco de concreto estrutural

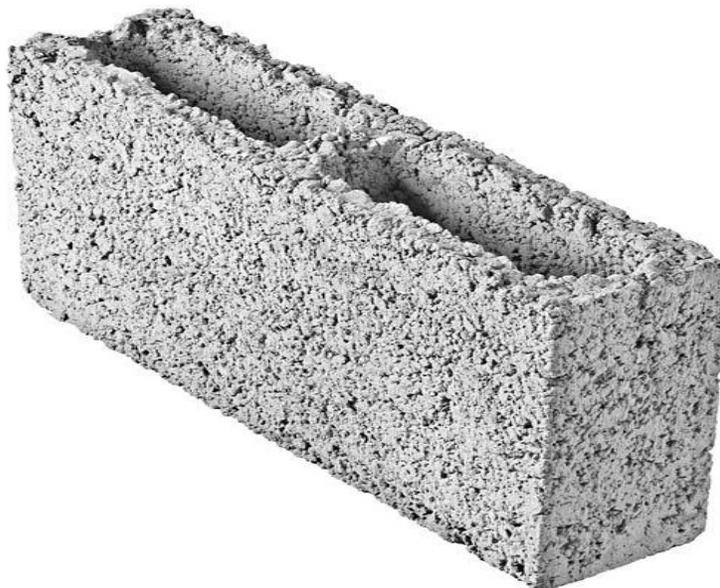


Fonte: Imblocos - Julho, 2015

### 3.3.5 Bloco de vedação de concreto

De acordo com ABNT NBR 6136:2007 conceitua-se como bloco vazado de concreto de vedação aquele que apresentam seção transversal média útil (área de seção transversal do bloco desconsiderando as áreas vazadas) menor que 75% da seção transversal bruta (área total transversal do bloco).

Figura 5 - Bloco de vedação de concreto



Fonte: Leroy Merlin - Julho, 2015

### 3.3.6 Bloco solo cimento

O Bloco solo-cimento resulta de um material fofo, que após processo de compactação e cura, enrijece, adquire impermeabilização e estabiliza-se formando um produto de massa específica superior a dos componentes dos solos puros, que lhe confere alta resistência. Entretanto, como a terra não é padronizada, existem limitações ao uso de determinados solos, geralmente vinculadas à trabalhabilidade e ao consumo de cimento (SEGANTINI et al., 2000).

Os solos indicados, para este tipo de unidade de alvenaria, são os em que: 100% dos grãos passam pela peneira de número 4; na peneira de número 200 passa de 10% a 50% dos grãos; índice de plasticidade (IP quantidade máxima de água que pode ser acrescentada ao solo, para que este mantenha sua consistência plástica) menor ou igual a 18%; limite de liquidez (LL é o limite da quantidade de água para que um solo adquirir comportamento de um líquido) menor ou igual a 45%, na medida em que aumenta o teor de argila do solo, aumenta a necessidade de consumo do cimento para sua estabilização, que deve representar de 5% a 10% em massa em relação ao solo. (ABNT NBR 10832:1989).

Figura 6 - Bloco Solo Cimento



Fonte: Ecomaquinas - Maio, 2015

## 4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

De acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013, o desempenho é o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, já segundo Mitidieri (2007), a palavra desempenho, evidencia o ato de que um determinado produto precisa apresentar propriedades para efetivar sua finalidade quando solicitado a situações diversas durante sua vida útil.

Segundo a ABNT NBR 15575:2013 avaliação de desempenho é o período de tempo que um edifício e seus componentes se prestam as atividades para as quais foram projetados, a vida útil não serve para limitar a responsabilidade no caso da construção civil e não deve ser confundida com prazo de garantia legal. A vida útil pode não ser atingida por falha de projeto, falha na execução, mau uso, falta de manutenção, forças maiores ou ações de terceiros.

De acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013, a avaliação de desempenho busca determinar os componentes ou elementos fundamentais para a adequação ao uso de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada. Sendo que na ABNT NBR 15575, não se encontra diretrizes de como executar a obra, mas sim, qual deve ser o resultado que a edificação deve atingir para se alcançar o desempenho necessário.

Para atingir esta finalidade, na avaliação do desempenho é realizada uma investigação minuciosa baseada em métodos sólidos, capazes de gerar uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas. Em função disso, a avaliação do desempenho requer uma ampla base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto funcional de uma edificação, sobre materiais e técnicas de construção, bem como sobre as diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso.

Todas as análises devem levar em consideração as condições do meio físico na época do projeto e da execução do empreendimento. Com o passar do tempo, não há como exigir o desempenho/qualidade da obra, sem a manutenção da mesma. O direito dos usuários à qualidade só existe, se estes fizerem a sua parte, ou seja, fizerem as manutenções previstas no projeto, se não fizerem as respectivas, deixam de ter o direito de reclamar dos eventuais problemas que podem surgir ao longo de sua vida útil (ABNT NBR 15575: 2013).

De acordo com a ABNT NBR 5674:2012, a empresa ou o profissional deve responder pela administração da manutenção da edificação, ficando sob sua responsabilidade:

- Providenciar, manter atualizados e também disponíveis os documentos e registros da edificação que comprovem a realização dos serviços de manutenção, como contratos, notas fiscais, garantias, certificados etc.;
- Devem ser mantidos registros legíveis para prover evidências da real ocorrência da manutenção, do planejamento, das inspeções e da efetiva realização das manutenções. Pede-se que cada registro contenha a coleta de dados, que devem ser registradas de forma a indicar os serviços de manutenção preventiva e corretiva, bem como mudanças realizadas.

## 5 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico das edificações é um fator importante na construção civil. A interação das trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, juntamente com a caracterização das condições climáticas locais constituem uma das etapas mais importantes para a avaliação do desempenho.

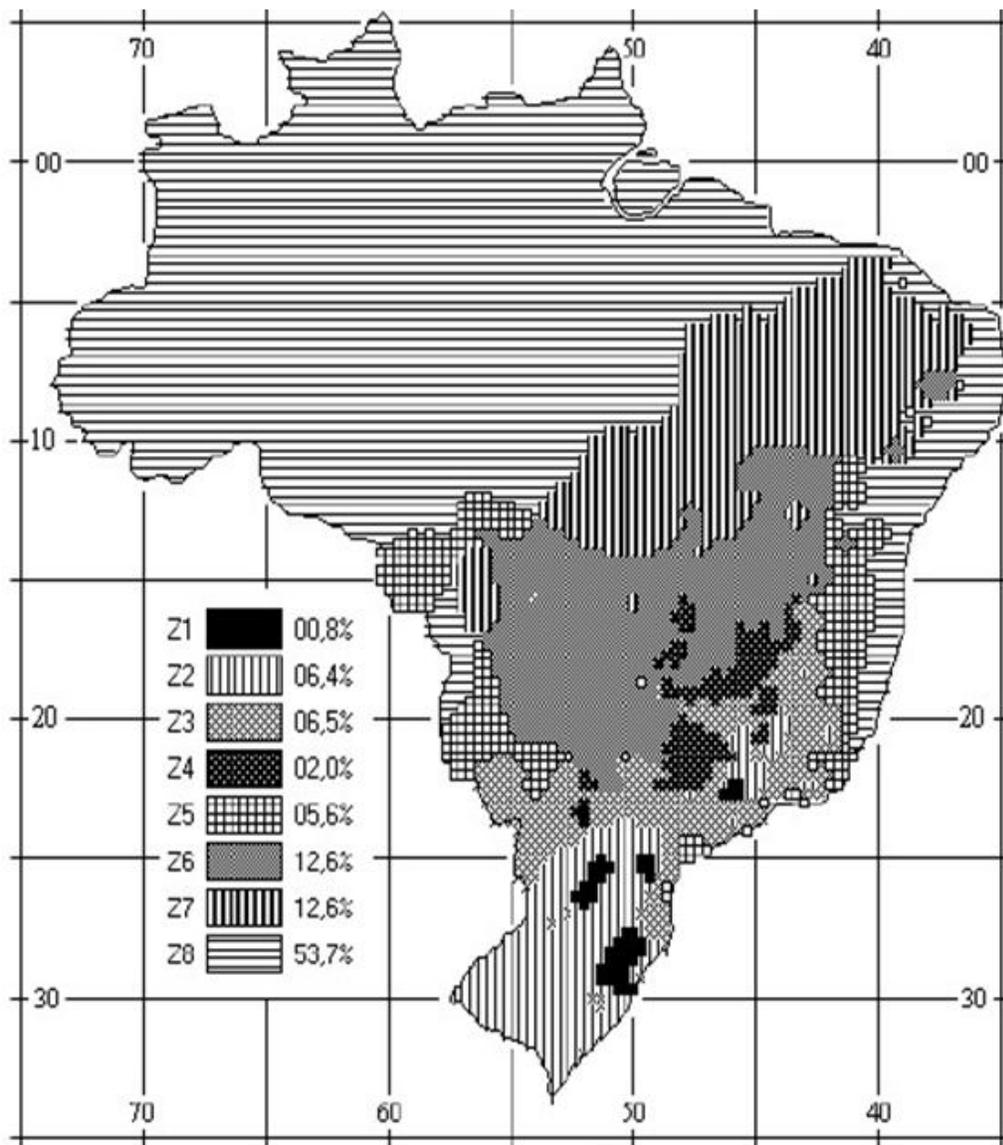
Inicialmente, deve se esclarecer que a ABNT NBR 15575:2013 não trata de condicionamento artificial (refrigeração ou calefação). Ou seja, todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base em condições naturais de insolação, ventilação e outras.

O desempenho térmico depende de diversas características do local da obra (topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento etc.) e da edificação (materiais constituintes, números de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé direito e orientação das fachadas, etc.). A sensação de conforto térmico depende muito das condições de ventilação dos ambientes, com grande influência do posicionamento e dimensões das aberturas de janelas o que é considerado pela NBR 15575 - Parte 4. (CBIC, 2013, p. 136).

A ABNT NBR 15220-3:2005 estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas a habitações unifamiliares de interesse social, estabelecendo assim, recomendações e diretrizes construtivas sem caráter normativo para adequação climática.

Segundo CBIC (2013), considerando a grande extensão da área brasileira, e a influência das coordenadas geográficas sobre a cidade onde a obra se situa, a ABNT NBR 15220-3:2005, divide o país em oito (08) zonas bioclimáticas, conforme ilustrado na figura 7, para cada região dessas, é definido o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecido de acordo a temperatura do ar, umidade relativa, radiação incidente, velocidade do vento. Essas zonas abrangem em torno de 200 cidades brasileiras, que servem de base para as cidades menores que não estão listadas.

Figura 7 - Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005

Enquanto que, a ABNT NBR 15575:2013 estabelece os procedimentos normativos e informativos, onde a edificação deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico considerando a região de implantação da obra e as características bioclimáticas. Conforme a norma em estudo, a avaliação térmica pode ser feita conforme três (03) procedimentos diferentes listados a seguir:

- Procedimento 1 A – Simplificado, averiguar o atendimento aos requisitos e critérios para envelopamento da obra, baseando na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada e das coberturas (Normativo).
- Procedimento 1 B – Simulação pelo software Energy Plus (Software de simulação desenvolvido pelo Departamento de Energia do Governo Federal dos Estados Unidos da América, distribuído gratuitamente), para as situações em que os valores obtidos para a transmitância térmica e ou capacidade térmica se façam indesejáveis em comparação aos critérios e métodos estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2013 diante dessas situações o desempenho térmico global da obra deve ser avaliado pela simulação do Software Energy Plus (Normativo).
- Procedimento 2 – Medição in loco, podem ser efetuados habitações ou protótipos que se assemelhem bastante com as condições reais, deve se assegurar que o sombreamento e a ventilação não alterem os reais resultados, este procedimento indica a verificação aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013, por meio de medições em habitações reais ou protótipos, elaborados com essa função, esse procedimento encontra um sério impedimento, essas medições tem que ser realizadas em períodos que correspondam a dias típicos de inverno ou dias típicos de verão, contendo pelo menos um dia com características parecidas, indicando ainda que se faça as medições com três dias consecutivos e análise dos dados no último dia (Informativo).

Segundo o estudo realizado por Sorgato (2011), é possível observar que a área de ventilação possui influência significativa no desempenho térmico de edificações residenciais.

A área de abertura para ventilação pode ser estabelecida conforme a legislação municipal de cada região, porém, a norma deve estabelecer uma área de ventilação mínima para cada zona. Caso os valores de área de ventilação exigido nos códigos municipais determinem valores maiores que o valor mínimo determinado pela ABNT NBR 15575:2013, estes valores devem ser atendidos preferencialmente, situações contrárias prevalecem os valores especificados pela ABNT NBR 15575:2013.

Segundo CBIC (2013), o que vai determinar a satisfação ou insatisfação do usuário irá depender das atividades exercidas no interior do imóvel, tipo de vestes

que o usuário é costumeiro, quantidade de móveis, idade, sexo, números de usuários que residem naquele imóvel, condições psicológicas e fisiológicas. Portanto quando se fala em conforto térmico, está se referindo a uma condição mediana de satisfação que atende a maioria das pessoas envolvidas e expostas a uma determinada situação.

## **5.1 Propriedades Térmicas**

As propriedades térmicas são observadas quando o calor é fornecido ou removido do material. As propriedades térmicas segundo Lima e Trevisan (2007) mais usuais na engenharia civil são: capacidade térmica, expansão térmica e condutividade térmica.

A capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade de temperatura de um sistema em  $\text{KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ , calculada conforme ABNT NBR 15220-2:2005. Esta consiste no quociente entre a quantidade de calor fornecida a um corpo e a correspondente variação de temperatura. Na prática a capacidade térmica ou calorífica é medida em joule por kelvin. Em termos práticos, é uma medição da energia térmica que precisamos adicionar ou retirar do sistema para modificar a sua temperatura.

Segundo Young e Freedman (2008), o conhecimento da expansão térmica (variação do volume com a temperatura) entre  $-40$  e  $100^\circ\text{C}$ , é de grande importância no estudo dos materiais, é também conhecidas como a dilatação ou contração de um sólido quando submetido a um gradiente de temperatura. Santos e Gregório (2002), definem que a condutividade térmica é a predisposição que o material mostra em transferir calor por condução.

Para ocorrer a troca de calor (energia) entre dois corpos é preciso que exista uma diferença de temperatura entre eles. Corpos com temperaturas iguais não trocam calor. Se existir uma diferença de temperatura entre dois corpos parte desta energia interna irá passar de um para o outro até que ambos fiquem na mesma temperatura ou seja o equilíbrio térmico (IONASHIRO; GIOLITO, 1980).

### **5.1.1 Condução**

O fluxo de calor por condução ocorre via as colisões entre átomos e moléculas de um material e a subsequente transferência de energia cinética. Em elementos sólidos a passagem de calor ocorre por condução (LIMA e TREVISAN, 2007). Quando uma molécula começa a vibrar com mais intensidade, ela pode "transmitir" parte desta vibração para as moléculas que estão ao seu redor. Sendo assim ela transfere parte da sua energia diretamente para as moléculas vizinhas. É nítido que fica mais fácil deste fenômeno acontecer quando as moléculas estão próximas umas das outras (como no caso dos sólidos). O calor é transferido por condução através do material até alcançar a extremidade mais fria (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

### **5.1.2 Convecção**

Dentro de ambientes fechados a transferência de calor ocorre por convecção. Como o ar quente tem densidade menor ele sobe, já o ar frio tem propriedade inversa. Em ambientes com isolamento térmico, a troca de calor com o ambiente externo é praticamente nula (LIMA; TREVISAN, 2007). Neste caso o calor é transportado de um lugar para o outro através do movimento de quantidades de matéria. Segundo Young e Freedman (2008), exemplos familiares incluem os sistemas de aquecimento de água em residências, o sistema de refrigeração do motor do carro e o fluxo de sangue pelo corpo.

### **5.1.3 Radiação**

Segundo Young e Freedman (2008), radiação é a transferência de calor por meio de onda eletromagnética. Qualquer corpo, mesmo que esteja a uma temperatura normal, emite energia sob a forma de radiação eletromagnética. A taxa de radiação de energia de uma superfície é proporcional a sua área.

Podem ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. Possuem energia variável desde valores pequenos até muito elevados (LIMA; TREVISAN, 2007).

## **5.2 Transmitância térmica**

Segundo a ABNT NBR 15220-2:2005, transmitância térmica é quanto de radiação atravessa um elemento em relação ao quanto de radiação que incidiu. É a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor. É dada por  $W/(m^2.K)$ .

"Transmitância térmica é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, induzidos pela diferença de temperatura entre dois ambientes." (CBIC, 2013, p. 37).

## **5.3 Resistência térmica**

A resistência térmica (R) é a capacidade dos materiais em "reter" calor. Quanto maior o valor de "R", melhor será o desempenho térmico do material. (ABNT NBR 15220-1:2005). Segundo Lima e Trevisan (2007) a resistência térmica do isolante por exemplo é a entidade que mede o quão eficaz ele é em reduzir a troca de calor, quanto maior for a resistência térmica, melhor é o isolante térmico.

## **5.4 Absortância solar**

Conforme (ABNT NBR 15220-1:2005) absortância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Absortância solar também pode ser conceituada como uma propriedade do material referente a parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor. A ABNT NBR 15220-2:2005 apresenta, no anexo B, uma lista de absortâncias para algumas cores e materiais, listada na tabela a seguir.

Tabela 2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas)

<b>Tipo de superfície</b>	<b><math>\alpha</math></b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
Alumínio	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005

## 6 DESEMPENHO ACÚSTICO

Conforme CBIC (2013), desempenho acústico é o conjunto de condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de atingir os pré requisitos previstos pelas normas pertinentes.

Segundo Bistafa (2011, p. 17) "O som é a sensação produzida no sistema auditivo; o ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa."

Conforme (CBIC, 2013, p. 154) Os sons resultam de movimentos vibratórios que se propagam pelo ar ou outros meios segundo ondas com a amplitude e frequências variadas. Quanto maior a amplitude da onda, maior a intensidade sonora. Quanto maior a frequência, expressa em ciclos por segundo (Hertz - símbolo Hz), mais agudo é o som.

De acordo com Santos (2005), propor uma boa acústica para um local é torná-lo compatível para as atividades ali desenvolvidas (lazer, trabalho, descanso). Para isso o som em um ambiente deve ser natural, vivo, porém sem excesso de reflexões, as quais serão absorvidas por materiais absorventes específicos, que foram determinados atendendo as normas pertinentes durante a fase de projeto da edificação.

A reflexão de som por superfícies é extremamente importante em auditórios e recintos em que a boa audibilidade seja necessária. Por outro lado, onde se quer atenuar o ruído e controlar o espalhamento do som, deve-se tratar as superfícies de tal modo que reduzam a energia sonora refletida. Isto quer dizer que a parte da onda que não for absorvida ou transmitida, é refletida de volta para o ambiente (BISTAFA, 2011).

Segundo Calza (1999), quando uma onda sonora está se propagando no ar e encontra com um obstáculo pode acontecer reflexão, absorção ou transmissão. Reflexão surge quando a onda se reflete de acordo com as leis da ótica. A absorção é a capacidade da superfície de não permitir que a onda sonora seja refletida. Transmissão ocorre quando um material permite que o som ultrapasse sua superfície, continuando a propagação, conforme a figura 8. O som encontra a superfície, faz com que o material vibre e gere uma onda no outro lado do anteparo.

Segundo Bistafa (2011, p. 6) "A acústica é a ciência do som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos."

A edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico propício ao que se refere aos ruídos resultantes das ações advindas do exterior, e isolamento acústico pertinente entre áreas em comuns, particulares e unidades independentes e autônomas em geral conforme normatizado na ABNT NBR 15575:2013. Seu requisito principal é propiciar o conforto nas condições mínimas de desempenho acústico das edificações.

De acordo com Bistafa (2011), o ruído deteriora a paz coletiva, impacta a economia e financeiramente a vida e convívio das pessoas.

Harmonia e bem estar são obtidos quando as necessidades do ser humano são atendidas e realizadas com conforto. Conforto acústico ocorre quando ocorre esforço fisiológico mínimo em relação ao som para a realização de uma determinada tarefa. (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006).

## **6.1 Propriedades acústicas**

Segundo Bistafa (2011, p. 7) "o ruído permeia as atividades humanas 24 horas por dia", este vem se mostrando como uma das causas da má qualidade de vida, como esse poluente não ameaça a vida como outros poluentes, o ruído fica em último lugar na lista de prioridades ambientais. O ruído afeta de várias formas, quando se é um agente ativo (quando se opera algum aparelho ruidoso) ou passivo (quando se este sujeito ao ruído produzido por outra pessoa). O ar, meio onde o ruído é propagado, é um bem de ordem pública, portanto não se deve realizar atividades de maneira irresponsável, existe explicitamente a necessidade de regras para o uso desse bem público, para que outras pessoas não sejam prejudicadas.

Portanto um mercado para controle de ruídos tem emergido nesse contexto. De acordo com Bistafa (2011), um estudo realizado na Dinamarca mostrou que o preço dos imóveis cai a medida que o ambiente em seu entorno aumenta o ruído de tráfego. Embora seja uma pesquisa em outro país, esses casos se constatarem igualmente no Brasil.

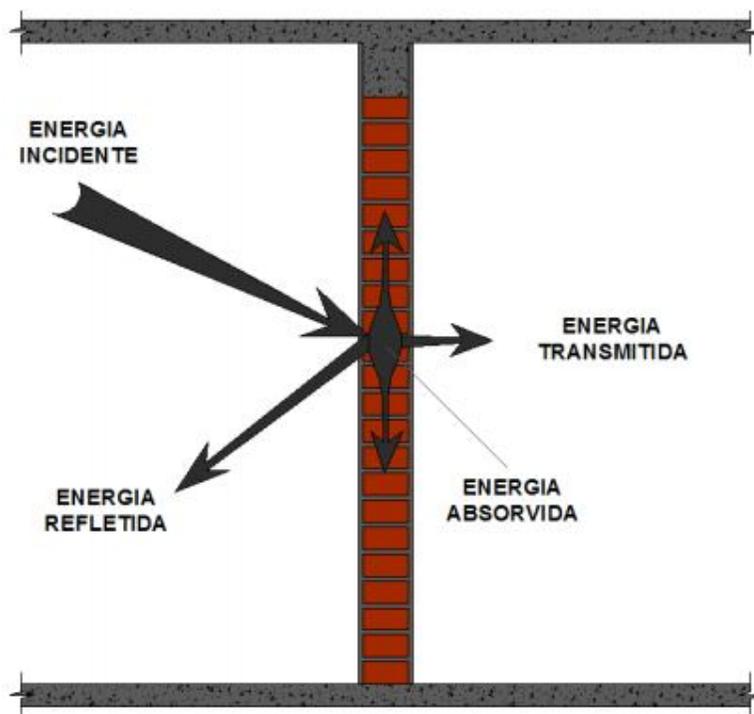
Segundo Calza (1999), uma barreira acústica é um obstáculo que bloqueia a linha reta entre a fonte sonora e o receptor, criando assim uma região de sombra acústica. Conforme Fernandes (2002) o coeficiente de absorção acústica é definido

como a taxa de energia absorvida sobre a taxa de energia incidente sobre um material, conforme apresentado na equação a seguir:

Equação 1:

$$\text{Absorção acústica} = \frac{\text{Energia absorvida}}{\text{Energia incidente}}$$

Figura 8 - Comportamento de incidência de energia



Fonte: Melhor acústica, (2015).

### 6.1.1 Diferença de nível padronizada

Segundo CBIC (2013), diferença de nível padronizada é utilizada para medir a diferença sonora entre dois ambientes.

A norma internacional (ISO 10140-5:2010) especifica métodos para medir propriedades da redução sonora aérea de paredes, pisos e portas entre duas salas sob condições de campo sonoro difuso. Essa norma define:

Diferença de Nível Padronizada (DnT) que é a diferença de nível correspondente ao valor do tempo de reverberação da sala de recepção, em dB, representada na equação 2:

Equação 2:

$$D_{nt} = L1 - L2 + 10 \log \left( \frac{T}{T0} \right)$$

Onde:

L1 - NPS medido na sala de emissão (dB);

L2 - NPS medido na sala de recepção (dB);

T - Tempo de Reverberação da sala de recepção (s);

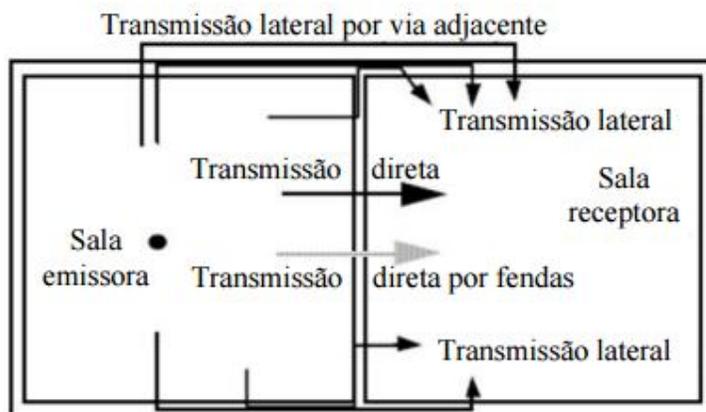
T0 - Tempo de Reverberação de referência; para habitações, T0 = 0,5 s.

### 6.1.2 Índice de redução sonora

Conforme norma internacional (ISO 10140-4:2010) a transmissão sonora de uma sala para outra, é composta por várias contribuições: transmissão direta pelo elemento de separação, transmissão direta por fendas ou aberturas e transmissões laterais, como pode se ver na figura 9. Portanto, a potência sonora transmitida da sala emissora para a sala receptora consiste na soma de vários componentes, entre eles:

- potência que incide na partição e é transmitida diretamente por ela;
- potência que incide na partição e é transmitida por elementos de construção laterais;
- potência que incide nos elementos de construção laterais e é transmitida pela partição diretamente;
- potência que incide nos elementos de construção laterais e é transmitida por esses elementos laterais;
- potência que é transmitida (como som aéreo) através de vazamentos, por fendas, aberturas e dutos de ventilação.

Figura 9: Transmissão sonora entre salas



Fonte: ISO 10140-5:2010

Conforme ISO 10140-5:2010, o índice de redução sonora entre duas salas,  $R$ , corresponde à diferença entre o nível da potência sonora incidente no elemento de separação e o nível da potência sonora transmitida para a sala receptora.

Para medições em laboratório, considera-se que a potência sonora transmitida para a sala receptora é igual à potência sonora transmitida através do elemento de separação,  $W_2$ , ou seja, não são consideradas transmissões laterais ou por outros componentes, e o índice de redução sonora  $R$  é dado, em dB.

Equação 3:

$$R = 10 \log \left( \frac{W_1}{W_2} \right)$$

Onde:

$R$  - Índice de Redução Sonora;

$W_1$  - equivale à potência sonora incidente no elemento de separação;

$W_2$  - potência sonora transmitida através do elemento de separação.

Com essa equação conclui-se que menores valores de  $W_2$  proporcionam maiores valores de Índice de Redução Sonora e por consequência maior terá que ser a capacidade isolante do material usado nesta edificação (ISO 10140-5:2010). A seguir a tabela 3 mostra os valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para algumas portas e janelas.

Tabela 3 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para algumas portas e janelas

Material / Sistema	R <sub>w</sub> (dBA)
Porta lisa com núcleo oco, massa superficial de 9 Kg/m <sup>2</sup> , sem nenhum tratamento nos encontros com o batente.	18*
Porta maciça com massa superficial de 60 Kg/m <sup>2</sup> , com tratamento acústico nos encontros com o batente.	28*
Janela de alumínio de correr, duas folhas, vidro de 4mm (L= 1200, h = 1200 mm)	20
Janela de alumínio de correr, uma folha com vidro de 4mm e duas folhas venezianas (L = 1200, h= 1200mm)	19
Janela de alumínio de correr integrada 9, duas folhas com vidro de 4mm (L = 1200, h = 1200mm)	26
Janela de alumínio de correr, duas folhas, vidro de 3mm (L = 1200, h = 1200mm), linha comercial	23
Janela de alumínio de correr, uma folha com vidro de 3mm e duas folhas venezianas (L= 1200, h =1200mm), linha comercial	16
Janela de alumínio Maxim - ar, linha comercial, 800 X 800mm, vidro com espessura de 4mm.	27
Janela de aço Maxim - ar, linha comercial, 800 X 800 mm, vidro com espessura de 4mm	24
Janela de aço de correr, uma folha vidro de 4mm e duas folhas venezianas (L = 1200, h = 1200 mm), linha comercial	15
Janela de aço de correr, quatro folhas de vidro de 4mm, linha comercial	16
Janela de alumínio de abrir, vidro duplo com espessura de 6mm e 4mm, câmara de ar de 10mm entre as placas de vidro	30*
Janela de alumínio de abrir, vidro duplo com espessuras de 8mm e 6mm, câmara de ar de 12mm entre as placas de vidro.	36*

(\*) valores indicados pela Universidade de Coimbra

Fonte: CBIC, (2013)

### 6.1.3 Isolamento acústico

Conforme CBIC (2013), o ruído gerado pelo trânsito, crianças brincando, música alta, operação de equipamentos e ferramentas tudo isso é motivo de grandes desentendimentos e estresse, sendo assim faz se necessária a adequada isolamento acústica por parte das fachadas, entre pisos, coberturas e paredes de geminação, além de isolamento ao som aéreo, a norma inclui situações para isolamento ao ruído feito e transmitido por impactos, fator importante para entre pisos e coberturas com acesso.

Segundo Bistafa (2011), isolamento acústico é o processo pelo qual se objetiva impedir a transmissão sonora de um ambiente para o outro, eliminando os ruídos, garantindo a eficácia e segurança do isolamento. Esta transmissão se da através tanto do meio aéreo, quanto pelo meio sólido. O isolamento acústico deve ser projetado e executado com muito critério, pois uma falha na composição dos

materiais ou no método construtivo utilizado pode permitir a passagem do som quase em sua totalidade, levando assim a falência do projeto.

Basicamente são utilizados materiais pesados, ou seja que apresentam grande massa molecular e tem por finalidade impedir que o som passe de um ambiente para o outro. (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006).

Outro fator que influencia no isolamento é o fato de não se usar apenas uma barreira, mas criar uma sequência de obstáculo para o som ter mais dificuldade de se propagar. Por isso, o uso de paredes duplas, janelas com vidros duplos ou a combinação de materiais de diferentes densidades (porta de madeira com chapa de aço) são muito importantes para se ter um bom isolamento acústico (CALZA, 1999).

De acordo com CBIC (2013, p.157) No caso de conversa em voz alta num determinado recinto, a NBR 15575-4 apresenta estimativa simplificada do grau de inteligibilidade / capacidade de entendimento do que se está falando em um ambiente adjacente em função do grau de isolamento acústico entre ele, mesmo com um certo nível de ruído neste segundo ambiente.

O quadro 1, mostra estas indicações.

Quadro 1 - Influência da isolação acústica.

<b>Inteligibilidade/capacidade de entendimento do que se está falando em voz alta no recinto adjacente</b>	<b>Isolamento sonoro, DnT, w</b>
Claramente audível: com dificuldade	35
Audível: houve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥50

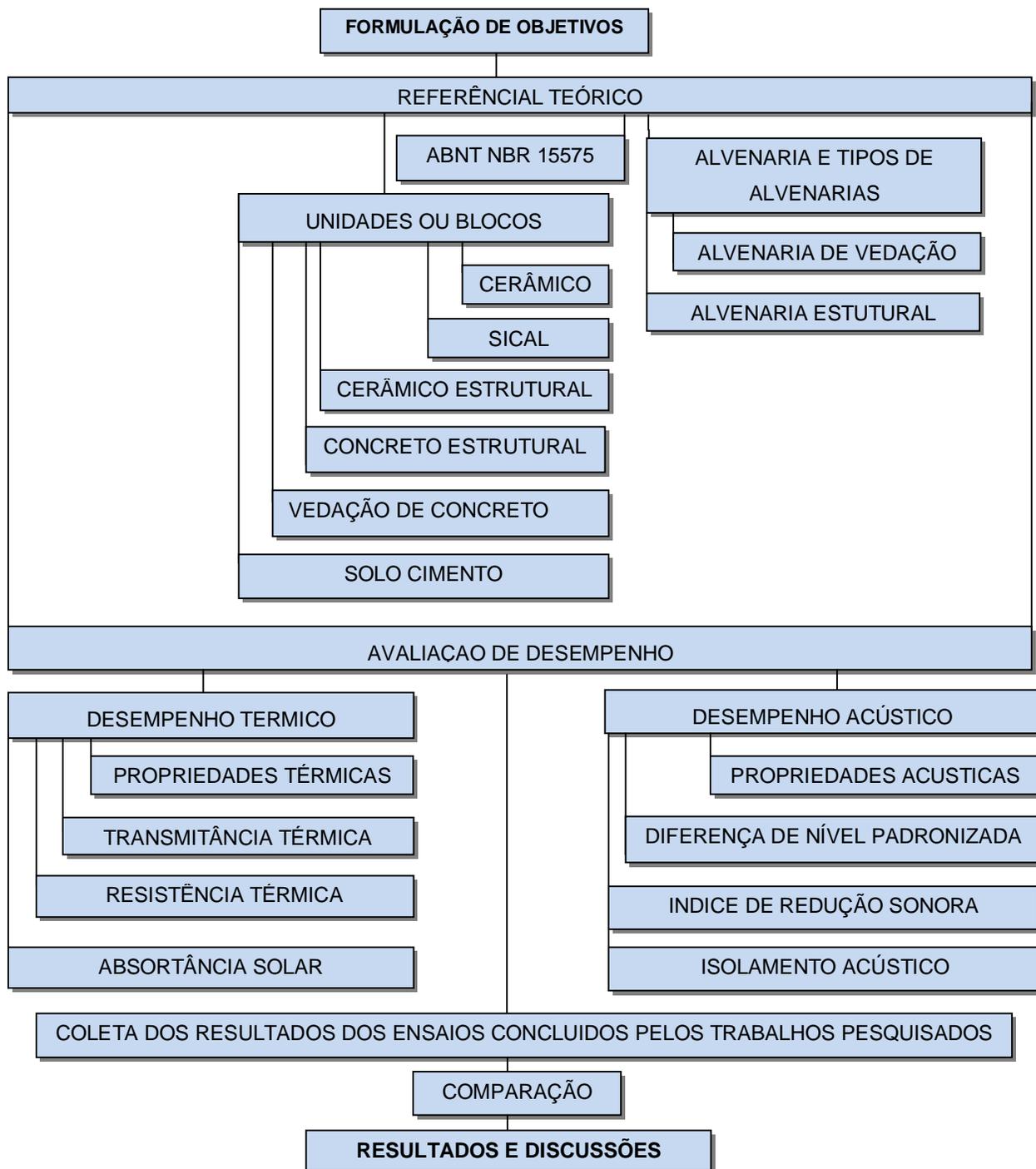
Fonte:NBR 15575-4:2013

Segundo Bistafa (2011), a absorção acústica trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras num mesmo ambiente. Ou seja, diminui ou elimina o nível de reverberação (que é uma variação do eco) num mesmo ambiente. Nestes casos se deseja, além de diminuir os níveis de pressão sonora do recinto, melhorar o nível de conforto acústico. Ao contrário dos materiais de isolamento, estes são materiais leves (baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos, como por exemplo: espumas poliéster de células abertas, fibras cerâmicas, lã de vidro ou rocha, tecidos, carpetes, etc.

## 7 METODOLOGIA

Este trabalho é composto de uma revisão bibliográfica, e suas etapas estão representadas na figura 10.

Figura 10 - Etapas da revisão bibliográfica



Fonte: Próprio autor

Este trabalho constitui-se de uma pesquisa bibliográfica, de caráter comparativo qualitativo e as informações contidas foram obtidas com o estudo de pesquisas na literatura, dissertações e teses, dentre outros. Assim sendo, estabeleceu-se um objetivo e em seguida abordou-se uma pesquisa descritiva sobre os tópicos a seguir, nessa respectiva sequência: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 15575); alvenaria; tipos de alvenarias; alvenaria estrutural; alvenaria de vedação, unidades ou blocos, bloco cerâmico; bloco sílico - calcário (Sical); bloco cerâmico estrutural; bloco concreto estrutural; bloco solo cimento; avaliação de desempenho; desempenho térmico; propriedades térmicas; condução; convecção; irradiação; transmitância térmica; resistência térmica; absorvância solar; desempenho acústico; propriedades acústicas; diferença de nível padronizada; índice de redução sonora; isolamento acústico.

Por diante, houve a coleta e interpretação dos resultados obtidos através de ensaios feitos em campo (*in Loco*) e em laboratório, nos estudos sobre desempenho acústico, realizado por:

- Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski, em sua tese de doutorado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2011;
- Aline Toshiko Yabiku no trabalho de iniciação científica, apresentado no XIX congresso interno da Universidade Estadual de Campinas, em 2011;
- Maria de Fátima Ferreira Neto, em sua tese de doutorado, apresentada a comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Campinas, em 2009.

Na sequência houve também entendimento e coleta dos resultados obtidos através de ensaios feitos em campo (*in Loco*) e em laboratório, nos estudos sobre desempenho térmico, realizado por:

- Tássia Helena Teixeira Marques, em sua dissertação de mestrado, apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo, em 2013;
- Marcio José Sorgato, em sua dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, em 2009.

- Arq. Claudia Morishita juntamente com outros pesquisadores desenvolveu um catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas, pela Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico no departamento de Engenharia Civil na cidade de Florianópolis-SC no ano de 2011.

Em seguida trabalhou-se na síntese dos dados a fim de viabilizar o comparativo, e por fim, a interpretação dos resultados, concluindo assim o trabalho.

## **8 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para o estudo proposto, usou-se ensaios realizados por pesquisadores em suas teses e dissertações de mestrado, estes foram usados neste trabalho com objetivo de caracterizar o nível de desempenho acústico e térmico das alvenarias.

Ressalta-se que os trabalhos adotados utilizaram os ensaios de acordo com as recomendações e exigências da norma em estudo, ou ainda de acordo com as normas internacionais indicadas pela ABNT NBR 15575:2013.

### **8.1 Nível de desempenho mínimo ABNT NBR 15575:2013**

Segundo a ABNT NBR 15575:2013, a avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a atender a uma função, independentemente da solução técnica adotada. Os parâmetros utilizados para a avaliação de desempenho foram estipulados pela ABNT NBR 15575-4:2013, em que, caracteriza os níveis como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). De acordo com a mesma norma, os níveis de desempenho mínimos (M) devem ser considerados e atendidos, enquanto os níveis intermediários (I) e superiores (S) objetivam possibilitar uma melhora na qualidade da edificação. Sendo assim, o desempenho da edificação está intimamente associado a todos os projetos de implantação, devendo ser atendidas as disposições das Normas aplicáveis, ABNT NBR 8044, ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682, ABNT NBR 6122 e ABNT NBR 12722.

### **8.2 Análise de desempenho acústico**

Na tabela 4 são apresentados os valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ) que o sistema de vedação vertical interna (SVVI), deve apresentar. A tabela 5 apresenta recomendações relativas a outros níveis de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes para ensaio de campo, ( $D_{nT,w}$ ).

Tabela 4 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, DnT, w, entre ambientes

Elemento	DnT, w (dB)
Paredes entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual, como corredores e escadarias de pavimentos	≥40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito 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 home theater, 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 unidades).	≥40

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013

Tabela 5 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, DnT,w para ensaio de campo

Elemento	DnT,w	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 de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual, como corredores e escadarias nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual, como corredores e escadaria de pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥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 unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥50	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013

Nascimento Michalski (2011), Toshiko Yabiku (2011) e Ferreira Neto (2009), realizaram diversos estudos para determinar as propriedades acústicas de algumas unidades de alvenaria. A tabela 6, 7 e 8 trazem as informações pertinentes aos ensaios realizados, e resultados encontrados respectivamente. Os resultados dos

ensaios foram numerados sequencialmente para viabilizar a comparação e o entendimento.

Tabela 6 – Resultados da diferença padronizada de nível ponderada dos ensaios realizados por Nascimento Michalski (2011).

Parede	Local das medições realizadas	DnT,w [dB]
1	Cômodo de uma edificação de um pavimento situada no campus de laboratórios de metrologia do Inmetro, em Xerém	39
2	Sala de aula, no segundo pavimento do prédio 6, no campus de laboratórios de metrologia do Inmetro, em Xerém	22
3	Laboratório, no primeiro pavimento do prédio 6, no campus de laboratórios de metrologia do Inmetro, em Xerém	26
4	Salas de aula, no Colégio Estadual Círculo Operário (CECO), em Xerém	26
5	Laboratório de Acústica e Vibrações (LAVI) e sua sala de aula, na COPPE/UFRJ, na Ilha do Fundão, sala I	30

Fonte: Adapt. Nascimento Michalski (2011)

Tabela 7 - Valores da diferença padronizada de nível para cada parede avaliada por Toshiko Yabiku (2011).

Parede	Tipo de corredores	Condição	DnT,w [dB]
6	Corredor	Porta fechada	22,70
		Porta aberta	8,25
7	Corredor	Porta fechada	25,44
		Porta aberta	16,65
8	Corredor sem porta	-	32,35
9	Corredor	Portas e janelas fechadas	17,94
		1 porta aberta	4,53
		1 janela aberta	12,43
		1 porta e 1 janela abertas	4,01
10	Corredor	Porta fechada	26,36
		Porta aberta	8,39
11	Corredor	Porta fechada	12,76
		2 portas abertas	2,88
		3 janelas abertas	3,68

Fonte: Adapt. de Toshiko Yabiku (2011)

Tabela 8 - Resultados da diferença padronizada de nível das paredes avaliadas por Ferreira Neto (2009).

<b>Parede</b>	<b>Material</b>	<b>Vedação/estrutural</b>	<b>Ambiente</b>	<b>DnT,w (dB)</b>
12	Concreto	Estrutural	Laboratório	35
13	Concreto	Estrutural	Sala	40
14	Concreto	Vedação	Sala	40
15	Concreto	Vedação	Sala	40
16	Concreto	Vedação	Sala	37
17	Concreto	Vedação	Quarto	47
18	Cerâmica	Vedação	Quarto	37
19	Cerâmica	Vedação	Sala	41

Fonte: Adapt. Ferreira Neto (2009)

Na tabela 9, é mostrado o comparativo dos resultados obtidos nas pesquisas mostradas individualmente nas tabelas 6, 7 e 8, com os valores das tabelas 4 e 5 extraída da ABNT NBR15575-4:2013.

Tabela 9 – Comparativo dos resultados dos ensaios da diferença padronizada de nível das paredes com os valores estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013.

Parede	Tipo de ambiente	Condição	DnT,w encontrados nos ensaios[dB]	DnT,w de referência da ABNT NBR 15575 [dB]	Nível de desempenho	Aprovada/Reprovada
1	Cômodo de uma edificação	NI	39	≥40	< M	Reprovada
2	Sala de aula	NI	22	≥30	< M	Reprovada
3	Laboratório	NI	26	≥40	< M	Reprovada
4	Sala de aula	NI	26	≥30	< M	Reprovada
5	Laboratório	NI	30	≥40	< M	Reprovada
6	Corredor	Porta fechada	22,70	≥30	< M	Reprovada
		Porta aberta	8,25	≥30	< M	Reprovada
7	Corredor	Porta fechada	25,44	≥30	< M	Reprovada
		Porta aberta	16,65	≥30	< M	Reprovada
8	Corredor sem porta	-	32,35	≥30	M	Aprovada
9	Corredor	Portas e janelas fechadas	17,94	≥30	< M	Reprovada
		1 porta aberta	4,53	≥30	< M	Reprovada
		1 janela aberta	12,43	≥30	< M	Reprovada
		1 porta e 1 janela abertas	4,01	≥30	< M	Reprovada
10	Corredor	Porta fechada	26,36	≥30	< M	Reprovada
		Porta aberta	8,39	≥30	< M	Reprovada
11	Corredor	Porta fechada	12,76	≥30	< M	Reprovada
		2 portas abertas	2,88	≥30	< M	Reprovada
		3 janelas abertas	3,68	≥30	< M	Reprovada
12	Laboratório	NI	35	≥40	< M	Reprovada
13	Sala	NI	40	≥30	S	Aprovada
14	Sala	NI	40	≥30	S	Aprovada
15	Sala	NI	40	≥30	S	Aprovada
16	Sala	NI	37	≥30	I	Aprovada
17	Quarto	NI	47	≥45	S	Aprovada
18	Quarto	NI	37	≥45	< M	Reprovada
19	Sala	NI	41	≥30	S	Aprovada

Fonte: Próprio Autor

Devido as exigências mínimas prescritas na ABNT NBR 15575:2013, apenas 7 paredes ou seja 36,84% das 19 amostras, obtiveram êxito.

Contudo, os resultados das medições podem ser afetados por vários fatores, como a calibração do equipamento utilizado para as medições, as dimensões e materiais usados na confecção das paredes, influências das condições ambientais, como umidade relativa do ar, pressão atmosférica, temperatura e velocidade do vento. Portanto é inviável se falar em resultados finais sem se analisar o sistema como um todo (janelas, pisos, coberturas e fachadas).

Uma observação relevante é que os resultados obtidos são para situações específicas de campo em construções específicas, realizadas por pesquisadores diferentes, em cidades diferentes, e por instituições também distintas. Portanto, mais investigações devem ser realizadas em condições costumeiras das edificações brasileiras, e com mais amostras, para que então possa se falar em conclusões mais abrangentes.

Notou se que a ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece requisitos acústicos mínimos aceitáveis para qualquer tipo de habitação e/ou edificação construída, e que esta norma utiliza também ensaios e métodos de cálculo determinados por outras normas, nacionais e internacionais, citadas assim por ela.

### 8.3 Análise do Desempenho Térmico

Na tabela 10 serão apresentados os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas, e na tabela 11, os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) para as paredes externas.

Tabela 10 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> . K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3,4,5,6,7 e 8	
U ≤ 2,5	α <sup>a</sup> ≤ 0,6	α <sup>a</sup> > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

<sup>a</sup> α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte NBR 15575-4:2013

Tabela 11 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) KJ/m <sup>2</sup> .k	
Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7 ≥ 130	Zona 8 Sem requisito

Fonte NBR 15575-4:2013

Teixeira Marques (2013), Sorgato (2009) e Morishita (2011), realizaram estudos, para reconhecer as propriedades térmicas de algumas unidades de alvenaria. A tabela 12, 13 e 14 trazem as informações pertinentes aos ensaios realizados, e seus respectivos resultados.

Os resultados dos ensaios de Teixeira Marques (2013), estão na tabela 12, esses ensaios foram realizados na cidade de São Carlos-SP, a localização da mesma se encontra na zona 4. Os resultados dos ensaios de Sorgato (2009) e Morishita (2011), estão respectivamente na tabela 13 e 14, esses ensaios foram realizados na cidade de Florianópolis-SC, que está situada na zona 3, todas as zonas bioclimáticas estão em conformidade com o mapa das zonas bioclimáticas brasileiras, contido na ABNT NBR 15220:2005.

Tabela 12 - Resultado dos estudos de Teixeira Marques (2013)  
sobre transmitância térmica e absorvância à radiação solar

Paredes	Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> .K	Absorvância à radiação solar
P1 + α1	3,7	0,3
P2 + α1	2,4	0,3
P3 + α1	1,85	0,3
P1 + α2	3,7	0,56
P2 + α2	2,4	0,56
P3 + α2	1,85	0,56
P1 + α3	3,7	0,72
P2 + α3	2,4	0,72
P3 + α3	1,85	0,72

Fonte: Adapt. Teixeira Marques (2013)

Tabela 13 - Resultado dos estudos de Sorgato (2009)  
sobre transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância à radiação solar

Parede	Descrição	Transmitância térmica W/m <sup>2</sup> .K	Capacidade térmica kJ/m <sup>2</sup> .K	Absorvância a radiação solar $\alpha$
P4	Parede dupla de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na maior dimensão;	1,0	368,00	0,40
P5	Parede de tijolos cerâmicos de oito furos quadrados, assentados na maior dimensão;	1,80	231,00	0,40
P6	Parede de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na menor dimensão	2,24	167,0	0,40

Fonte: Adapt. Sorgato (2009)

Tabela 14 - Resultado dos ensaios de Morishita (2011), sobre transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância à radiação solar

Parede	Descrição	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade térmica kJ/(m <sup>2</sup> K)	Absorvância a radiação solar $\alpha$
P7	Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,78	209	0,4
P8	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,72	178	0,4
P9	Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,97	159	0,4
P10	Sem revestimento interno Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	3,00	157	0,4
P11	Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,69	272	0,4
P12	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,64	241	0,4
P13	Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,86	222	0,4
P14	Sem revestimento interno Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,87	221	0,4
P15	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,43	152	0,4

<b>P16</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,37	120	0,4
<b>P17</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,59	100	0,4
<b>P18</b>	Sem Revestimento Interno Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,61	98	0,4
<b>P19</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (9,0 x 9,0 x 24,0 cm) Sem revestimento externo	2,99	42	0,4
<b>P20</b>	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,85	161	0,4
<b>P21</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,74	125	0,4
<b>P22</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,85	105	0,4
<b>P23</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 14,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,96	106	0,4
<b>P24</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 9,0 x 24,0cm) Sem revestimento externo	2,37	56	0,4
<b>P25</b>	Sem revestimento interno Tijolo maciço (10,0 x 6,0 x 22,0cm) Sem revestimento externo	3,65	158	0,4
<b>P26</b>	Sem revestimento interno Concreto maciço 10cm Sem revestimento externo	4,40	240	0,4
<b>P27</b>	Sem revestimento interno Concreto maciço 12cm Sem revestimento externo	4,19	288	0,4

Fonte: Adapt. Morishita (2011)

Tabela 15 - Comparativo dos resultados dos ensaios de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes com os valores da ABNT NBR 15575:2013

Paredes	Descrição	Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> .K	Capacidade térmica kJ/(m <sup>2</sup> K)	Absorvância a radiação solar $\alpha$	Avaliação pelo procedimento simplificado
P1 + $\alpha$ 1	-	3,7	-	0,3	M
P2 + $\alpha$ 1	-	2,4	-	0,3	M
P3 + $\alpha$ 1	-	1,85	-	0,3	M
P1 + $\alpha$ 2	-	3,7	-	0,56	M
P2 + $\alpha$ 2	-	2,4	-	0,56	M
P3 + $\alpha$ 2	-	1,85	-	0,56	M
P1 + $\alpha$ 3	-	3,7	-	0,72	Não atende
P2 + $\alpha$ 3	-	2,4	-	0,72	M
P3 + $\alpha$ 3	-	1,85	-	0,72	M

<b>P4</b>	Parede dupla de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na maior dimensão;	1,0	368,00	0,40	M
<b>P5</b>	Parede de tijolos cerâmicos de oito furos quadrados, assentados na maior dimensão;	1,80	231,00	0,40	M
<b>P6</b>	Parede de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na menor dimensão	2,24	167,0	0,40	M
<b>P7</b>	Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,78	209	0,4	M
<b>P8</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,72	178	0,4	M
<b>P9</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,97	159	0,4	M
<b>P10</b>	Sem revestimento interno Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	3,00	157	0,4	M
<b>P11</b>	Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,69	272	0,4	M
<b>P12</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,64	241	0,4	M
<b>P13</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,86	222	0,4	M
<b>P14</b>	Sem revestimento interno Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,87	221	0,4	M
<b>P15</b>	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,43	152	0,4	M
<b>P16</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,37	120	0,4	Não atende
<b>P17</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,59	100	0,4	Não atende
<b>P18</b>	Sem Revestimento Interno Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,61	98	0,4	Não atende
<b>P19</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (9,0 x 9,0 x 24,0 cm) Sem revestimento externo	2,99	42	0,4	Não atende
<b>P20</b>	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,85	161	0,4	M
<b>P21</b>	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,74	125	0,4	Não atende
<b>P22</b>	Gesso interno (0,2cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,85	105	0,4	Não atende

<b>P23</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 14,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,96	106	0,4	Não atende
<b>P24</b>	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 9,0 x 24,0cm) Sem revestimento externo	2,37	56	0,4	Não atende
<b>P25</b>	Sem revestimento interno Tijolo maciço (10,0 x 6,0 x 22,0cm) Sem revestimento externo	3,65	158	0,4	M
<b>P26</b>	Sem revestimento interno Concreto maciço 10cm Sem revestimento externo	4,40	240	0,4	Não atende
<b>P27</b>	Sem revestimento interno Concreto maciço 12cm Sem revestimento externo	4,19	288	0,4	Não atende

Fonte: Próprio Autor

Diante dos resultados obtidos e o comparativo da tabela, é possível constatar que:

Devido às exigências mínimas prescritas na ABNT NBR 15575:2013, 22 paredes, ou seja, 66,66% das 33 amostras submetidas a ensaio, alcançaram o mínimo desejado na método simples de avaliação.

A primeira vista, existem paredes que passa pelo valor mínimo de desempenho estabelecido pela ABNT NBR 15575:2013 e que poderia alcançar outros níveis de desempenho, contudo para avaliar e enquadrar dentro dos outros parâmetros seria necessário o conhecimento do valor máximo diário da temperatura do ar no interior das edificações durante a realização dos ensaios, em graus Celsius, e não se obteve esse dado em todos os estudos.

Os casos simulados, nos diferentes modelos e com resultados de melhor desempenho térmico pode ter se dado pela avaliação independente de paredes sem as devidas interferências que podem ocorrer em uma edificação brasileira como: ventilação natural, aberturas de janelas, áreas de superfície expostas ao exterior, cobertura, piso, ocupação, metragem da área construída e analisada, área de superfície em contato com o solo, estes são fatores de relevante importância para se definir condições térmicas de uma edificação.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho chegou se a conclusão que a qualidade das habitações Brasileiras é em geral precária e desprovida de conforto térmico e acústico. A carência de informações sobre as especificações da ABNT NBR 15575:2013, dificultam a execução das obras e sua fiscalização subsequente, conforme os requisitos exigidos. O cumprimento das exigências somente será efetivo, quando for totalmente compreensível seu real benefício e possuir uma justificativa convincente que atinja a todos envolvidos neste ideal.

A recomendação por tanto, vem de que seja sempre feita a avaliação dos desempenhos térmico e acústico, considerando a combinação de todos os parâmetros, avaliando o sistema como um todo.

Ficou muito claro após análise de conforto térmico e acústico nos estudos supra citados que, os padrões construtivos são tão baixos e por consequência desempenhos tão insatisfatório que em algumas situações tornaram o clima externo mais confortável termicamente que o interior das edificações e o conforto acústico ainda não alcançou os limites estabelecidos pela norma. Conclui-se que a qualidade inferior das unidades habitacionais foi prejudicada provavelmente pelo baixo custo de execução, a utilização de materiais de construção de baixa qualidade e os padrões construtivos foram insuficientes para se chegar ao desempenho mínimo prescrito na norma em estudo. As habitações populares ainda não possuem espaço, proporção e metodologias construtivas padronizadas no Brasil, estas não são projetadas e construídas respeitando as normas vigentes e muita das vezes não se considera em projeto o clima do local onde se localizará a edificação.

Em relação às dificuldades de implantação e a aplicabilidade dos quesitos exigidos pela ABNT NBR 15575:2013, pode se destacar que é difícil perceber o correto envolvimento de cada uma das partes envolvidas, como os projetistas, construtoras, fornecedores, fiscais e usuários. Ainda falta informação para embasar as decisões de projeto, especialmente sobre os materiais e componentes. Percebe-se que os fornecedores ainda não adaptaram às exigências de especificações técnicas, especialmente no que diz respeito a disponibilização das informações sobre o desempenho dos materiais. É necessária requalificação e conscientização

de todos envolvidos, que vai desde os operários até aos fornecedores de materiais e componentes.

Por fim, entende-se que é um processo complexo, onde os principais desafios envolvem mudanças no processo de projeto, na execução da obra, na cadeia de fornecedores, nas exigências dos usuários e na fiscalização para que o objetivo desta norma possa então ser alcançado, proporcionando ao Brasil edificações dignas de serem habitadas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7170**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 10832**: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 14974**: Bloco sílico-calcário para alvenaria Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: definição, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Parte 1: bloco cerâmico para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Parte 2: bloco cerâmico para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2.<sup>a</sup> ed - São Paulo: Blucher, 2011.

BRASIL ESCOLA. **Processos de transmissão de calor**. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/os-processos-transmissao-calor-estao-inseridos-no-cotidiano-1315837060.jpg>. Acesso em: 7 jun. 2015.

CALZA, A. J. "**Barreiras Acústicas - Ensaio Experimentais e Técnicas de Predição da Atenuação Através de Simulações Numéricas por Elementos de Contorno e Cálculo Analíticos**", 1999.178 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

CAMACHO, J. S. **Projetos de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, 2006. 53 p. Notas de Aula. São Paulo, 2006.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. UTFPR, 2006. 12p. Artigo para 17º CBECI Mat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

CBIC, José Carlos. **CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO**, c172d., 2013. Desempenho de Edificações Habitacionais: guia orientativo para atendimento para atendimento à Norma ABNT 15575/2013. Brasília, 2013.

COÊLHO, R. S. A. **Alvenaria Estrutural**. São Luis: UEMA, 1998.

CONSTRUINDO ORG. **Bloco silício-calcário**. Disponível em: <http://construindo.org/blocos-silico-calcario/>. Acesso em: 5 mar. 2015.

ECOMAQUINAS. **Bloco solo cimento**. Disponível em: <http://ecomaquinas.com.br/noticias/103>. Acesso em: 20 mai. 2015

FABRÍCIO, H. **Manual do engenheiro civil**. Rio de Janeiro: Hemus Livraria, 2004.

FERNANDES, J. C. **Notas de aula Acústica e Ruídos**, UNESP- Campus de Bauru, Departamento de Engenharia Mecânica. 2002.

GRUPO DE ESTUDOS EM RUÍDO AEROPORTUÁRIO, **Hierarquização dos aeroportos segundo o impacto ambiental sonoro**, COPPE- UFRJ-PEM-LAVI-INFRAERO, Workshop infraero 2006. 72 p.

**ISO 10140**. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. **ISO 10140-4**: Acoustic: Laboratory measurement of sound insulation of building elements-- Part 4: Measurement procedures and requirements. 2010.

IONASHIRO, M.; GIOLITO, I. **Nomenclatura, Padrões e Apresentação dos Resultados em Análise Térmica. Cerâmicas**, 26 (121). Rio de Janeiro, 1980.

KALIL, S. M. B. **Alvenaria Estrutural - Manual para Alunos Graduação PUC/RS**, pp.86, 2010.

LEROY MERLIN. **Bloco de Vedação de Concreto**. Disponível em: <http://www.leroymerlin.com.br/blocos-de-concreto/uso/Veda%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 4 jul. 2015.

LIMA, C.C.; TREVISAN, R. **Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações**. São Paulo. Ed. Artliber, 2007.

MARQUES. T.H.T. **Influência das Propriedades Térmicas Da Envolvente Opaca No Desempenho de Habitações de Interesse Social em São Carlos-SP**. Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo (USP). São Carlos - São Paulo, 2013.

MANZIONE, L. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2007.

MELHOR ACÚSTICA. Comportamento de incidência de energia. Disponível em <<http://melhoracustica.com.br/comportamento-acustico-dos-materiais/>>. Acesso em 10 mai.2015.

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. 256 p. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

MITIDIERI FILHO, C. V. Qualidade e Desempenho na Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil: e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1. Ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v. cap. 2.

MORISHITA, C; et al. **Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. Catalogo Técnico Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, v. 4, 2010.

PAIXÃO, D. X. **Qualificação e competência profissional em acústica: exigências de um mercado em expansão**. Revista Acústica e Vibrações, n. 43, SOBRAC, 2011.

RAMALHO, M.A.;CORRÊA, M.R.S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

REBELLO, Y. C. P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. 7.ed. São Paulo: Zigurate 2000, 2011.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H.R.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E.Y.; **Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria**; Revista Matéria, v. 16, n. 2, pp. 730 – 746, 2011.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SANTOS, J.L.P dos. **Estudo do Potencial Tecnológico de Materiais Alternativos em Absorção Sonoras**. Editora UFSM Santa Maria - 2005.

SANTOS, W. N. dos & Gregório Filho, R. - **Journal of Applied Polymer Science**, 85, p.1779 (2002).

SEGANTINI A. A. S. (2000) **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira** - SP, Tese de Doutorado, Campinas, SP, FEAGRI, UNICAMP, 176p.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. **Relatório Técnico da Base de Simulação do RTQ-R**. Florianópolis - SC: LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina 2011.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TAUIL, C.A. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI , 2010.

TONDO, G.R. **Avaliação dos processos e equipamentos necessários para a adequação de nível de desempenho térmico e acústico de projetos de habitações populares segundo a NBR 15.575:2013**. 2014.113. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco 2014.

UTINTAS. **Bloco cerâmico**. Disponível em <<http://www.utintas.com.br/#!/product/prd1/4251944485/bloco-cer%C3%A2mico-11%2C5x14x24cm>> Acesso em 5 mai. 2015.

YABIKU, T. A; et al. **Desempenho acústico de paredes compostas**. Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, São Paulo, 2011.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 13 ed.[S.l]: PINI, 2013.

YOUNG e FREEDMAN. Física II: **Termodinâmica e ondas**. (colaborador A. Lewis Ford): tradução Cláudia Santana CBIC; Revisão técnica Adir Moysés Luiz. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.