



PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE REVESTIMENTO NO DESEMPENHO
TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO DE EDIFÍCIOS**

PEDRO DE FREITAS GOIS

Recife

2020



PEDRO DE FREITAS GOIS

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE REVESTIMENTO NO DESEMPENHO
TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções.

Recife

2020

G616e

Gois, Pedro de Freitas.

Estudo da influência do sistema de revestimento no desempenho térmico, acústico e lumínico de edifícios / Pedro de Freitas Gois, 2020.

127 f. : il.

Orientador: Ângelo Just da Costa e Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2020.

1. Construção civil. 2. Habitação. 3. Arquitetura de habitação. 4. Revestimentos. I. Título.

CDU 624.07

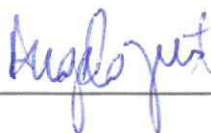
Pollyanna Alves - CRB-4/1002

PEDRO DE FREITAS GOIS

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE REVESTIMENTO NO DESEMPENHO
TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções.

Avaliado por:



Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade Católica de Pernambuco
(Orientador)



Prof. Dra. Paula M. W. Maciel do Rêgo Silva
Universidade Católica de Pernambuco
(Avaliador Interno)



Prof. Dr. Helena Carasek Cascudo
Universidade Federal de Goiás
(Avaliador Externo)

Data: 13 / 03 / 2020

Recife
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que sempre se fez presente durante toda minha caminhada, incentivando, orientando e definindo os valores que foram e são alicerces na minha formação pessoal, dentre eles a educação.

Agradeço ao meu pai, Otacílio e especialmente a minha mãe, Edineia, que sempre demonstraram amor e apoio incondicional. Recordo da minha mãe sentada à mesa de estudos juntamente comigo e meus irmãos, e posteriormente, ao comentar essa passagem, proferir a frase “o exemplo é a melhor forma de educar”.

Agradeço ao saudoso Professor Joaquim Correia que, dentre outros ensinamentos, renovou o ensinamento da minha mãe: “O exemplo não é melhor forma de educar, é a única”.

À minha filha, Maria, nascida ao final dessa jornada, que já é a maior motivação para a minha dedicação na busca por ser um exemplo melhor para ela.

À minha companheira, Ana Tália, parceira nessa jornada, por todo amor, resiliência e paciência nos momentos que me fiz ausente.

À família Tecomat e à Unicap, representadas aqui pelo meu orientar, Angelo Just, que me deu a oportunidade de aprender e trabalhar com pessoas incríveis. Agradeço-o por manter a serenidade e a crença no projeto, mesmo quando parecia que não haveria saída.

A Mariama e Raoni, meus irmãos, e Matheus, Marcos e Marconi, companheiros de trabalho, que contribuíram diretamente com o desenvolvimento dessa pesquisa. Esse trabalho não seria possível sem vocês. Vocês representam a contribuição de todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada.

RESUMO

A NBR 15575:2013 estabelece objetivamente requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho da habitação referentes ao seu comportamento em uso, independente dos processos construtivos ou materiais utilizados. Dadas essas exigências, a influência das camadas de revestimento no desempenho dos sistemas construtivos é um parâmetro essencial para a especificação de seus materiais e elementos, de forma a viabilizar o projeto, não apenas economicamente, mas também tecnicamente. Através de 76 simulações computacionais baseadas em um modelo de referência definido para o estudo, o presente trabalho avaliou diferentes camadas dos sistemas de vedações verticais, internos e externos, de piso, de cobertura, verificando suas respectivas influências no desempenho térmico, acústico e lumínico natural. Analisando os resultados, verificou-se, para o modelo de referência utilizado, os materiais e elementos com maior influência sobre o: desempenho lumínico - acabamentos internos do ambiente e tipo de vidro utilizado na esquadria externa; desempenho térmico - todos os elementos da envoltória, sistema de cobertura e fachadas, especialmente a absorvância dos revestimentos externos e a tipologia do sistema de cobertura; desempenho acústico da fachada – esquadria externa; desempenho acústico do sistema de piso - espessura do elemento estrutural e emprego de forro e manta acústica; desempenho acústico das vedações verticais internas – tipologia do componente da vedação e espessura do revestimento. Concluímos que os revestimentos têm grande influência no desempenho térmico, acústico e lumínico natural das edificações e devem ser considerados na etapa de projeto, tendo as simulações computacionais como importante ferramenta.

Palavras chave: Edificações, Desempenho, Desempenho Térmico, Desempenho Acústico, Desempenho Lumínico Natural, Revestimentos.

ABSTRACT

Regardless of the construction processes or employed materials, the NBR 15575 defines objectives, requirements, and methods for assessing the behavior in use performance of accommodations. Therefore, the influence of the coating layers on the performance of construction systems is an essential parameter to assess the use of materials and elements of the systems, in order, to make the project feasible, not only economically, but also technically. Through computer simulations based on a defined reference model for the study, the present work study the influence of different layers of floor, roof and, internal and external, vertical sealing systems, on the thermal, acoustic, and lighting performance. Finally, analyzing the results, for the reference model used, identified the materials and elements with the greatest influence on: lighting performance - the internal finishes of the environment and the type of glass used in the external frame; thermal performance - all elements of tension, roofing system and facades, especially an absence of external cladding and the roof system typology; acoustic performance of the façade - function especially of the external frame; acoustic performance of the floor system - mainly influenced by the thickness of the structural element and the use of ceiling and acoustic blanket; acoustic performance of internal vertical seals - typology of the structured element of the seal and thickness of the lining. We conclude that coatings have a great influence on the thermal, acoustic and natural lighting performance of buildings and should be considered in the design stage, with computer simulations as an important tool.

KEY WORDS: Building Performance, Thermal Performance, Acoustic Performance, Natural light Performance, Coatings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histórico da Norma Brasileira de Desempenho edificações.....	25
Figura 2 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos.....	26
Figura 3 - Metodologia de avaliação de desempenho.....	30
Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	32
Figura 5 - – Fluxo de métodos de avaliação de desempenho térmico (Adaptado de (CBIC, 2013)).....	35
Figura 6 - Ilustrações de transmissão de ruídos gerados por impactos.....	46
Figura 7 - Modelo de referência utilizado nas simulações computacionais (Cotas das dimensões internas do ambiente).....	55
Figura 8 - Detalhe esquemático do sistema de vedação vertical externo de referência utilizado no estudo (sem escala).....	56
Figura 9 - Detalhe esquemático do sistema de vedação vertical interno de referência utilizado no estudo (Sem escala).....	59
Figura 10 - Detalhe esquemático do sistema de piso de referência utilizado no estudo.....	61
Figura 11 - Detalhe esquemático do sistema de cobertura de referência utilizado no estudo.....	64
Figura 12 – Cronologia de utilização do EnergyPlus em pesquisas publicadas no ENTAC entre 2004 e 2016.....	67
Figura 13 – Tela do SketchUp8 com o modelo de referência.....	68
Figura 14 – Tela de download dos arquivos climáticos do site labeee.ufsc.br.....	69
Figura 15 - Tela inicial do EnergyPlusV8.....	70
Figura 16 - Tela de edição do arquivo “IDF” no EnergyPlus8 - Base de dados dos materiais.....	71
Figura 17 - Tela de edição do arquivo “IDF” no EnergyPlus8 – Base de dados das camadas dos sistemas de vedação.....	71
Figura 18 – Tela de edição de materiais do Insul (Fonte: Autor).....	76
Figura 19 - Tela do <i>Insul</i> com modelagem do sistema de vedação vertical.....	79
Figura 20 - Tela do <i>Insul</i> com modelagem do sistema de piso (Fonte: Autor).....	79
Figura 21 - Planta baixa do modelo de referência no SONarchitect ISO.....	81

Figura 22 - Tela do SONarchitect ISO durante análise da diferença padronizada de nível ponderada da vedação vertical interna do modelo de referência.....	82
Figura 23 - Tela do SONarchitect ISO durante análises de isolamento sonora	83
Figura 24 – Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a planta baixa do modelo de referência definido para o estudo	84
Figura 25 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização 3D do modelo de referência definido para o estudo	85
Figura 26 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização 3D do modelo de referência definido para o estudo	86
Figura 27 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização da destruição de luz no ambiente através de escala de cor apresentada na extremidade inferior da tela	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos dos usuários	20
Tabela 2 - Requisitos dos usuários - Continuação	21
Tabela 3 - Número de requisitos específicos de desempenho constantes na NBR 15575 separados por requisito e categoria	28
Tabela 4 - Transmitância térmica de paredes externas	33
Tabela 5 - Capacidade térmica de paredes externas	34
Tabela 6 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	34
Tabela 7 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos.....	37
Tabela 8 - Critério mínimo para avaliação de desempenho térmico por simulação computacional para condições de verão	38
Tabela 9 - Critério mínimo para avaliação de desempenho térmico por simulação computacional para condições de inverno	38
Tabela 10 - Parâmetros acústico de verificação de desempenho acústico	40
Tabela 11 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório	41
Tabela 12 – Níveis de pressão sonora equivalentes, $L_{Aeq,T}$, incidentes nas fachadas das edificações para cada classe de ruído	42
Tabela 13 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes	43
Tabela 14 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$	44
Tabela 15 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	45
Tabela 16 - Níveis de iluminância geral para iluminação natural	48
Tabela 17 – Softwares de simulações de desempenho lumínico utilizados em pesquisas científicas	50
Tabela 18 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação	51
Tabela 19 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais.....	58
Tabela 20 - Sistemas de vedações verticais internas considerados nas simulações computacionais.....	60

Tabela 21 - Sistemas de piso considerados nas simulações computacionais	63
Tabela 22 - Sistemas de cobertura considerados nas simulações computacionais .	66
Tabela 23 – Propriedade térmica dos materiais opacos utilizados na modelagem e simulação computacional de desempenho térmico	72
Tabela 24 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de parede	74
Tabela 25 - Valores indicativos do índice de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'nT,w$	75
Tabela 26 – Propriedades dos materiais utilizadas para modelagem no <i>INSUL</i>	77
Tabela 27 – Índices de redução sonora (R_w) dos elementos dos sistemas de vedações verticais obtidos no <i>INSUL</i>	77
Tabela 28 - Índices de redução sonora (R_w) e Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderada dos sistemas de piso obtidos no <i>INSUL</i>	78
Tabela 29 – Refletâncias à radiação visível consideradas nas simulações	87
Tabela 30 - Propriedade térmica dos materiais translúcidos (vidros) utilizados na modelagem e simulação computacional de desempenho térmico.....	88
Tabela 31 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho térmico	90
Tabela 32 - Sistemas cobertura considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho térmico	93
Tabela 33 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho térmico	95
Tabela 34 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho térmico em relação ao modelo de referência	96
Tabela 35 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais.....	98
Tabela 36 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações no Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE)	99
Tabela 37 - Sistemas de vedações verticais internas considerados nas simulações computacionais.....	102
Tabela 38 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações nos Sistemas de Vedações Verticais Internos (SVVI) .	103
Tabela 39 - Sistemas de piso considerados nas simulações computacionais	106

Tabela 40 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações no Sistema de Piso (SP)	107
Tabela 41 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho acústico	110
Tabela 42 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho acústico em relação ao modelo de referência	111
Tabela 43 - Sistemas de vedações verticais internos e externos, sistemas de piso e sistemas de cobertura considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho lumínico natural	113
Tabela 44 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho lumínico natural	115
Tabela 45 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho lumínico natural em relação ao modelo de referência.....	115
Tabela 46 – Compilação do nível de influência nas variações dos sistemas de revestimento no desempenho acústico, térmico e lumínico	116
Tabela 47 – Compilação do nível de influência nas variações dos sistemas de vedações no desempenho acústico, térmico e lumínico	117

SUMÁRIO

SUMÁRIO	12
1 Introdução	14
1.1 Importância e justificativa.....	14
1.2 Objetivo geral	16
1.3 Delimitações	16
1.4 Estrutura da dissertação	17
2 Revisão Bibliográfica	18
2.1 Histórico das análises de desempenho de edificações no Brasil	18
2.2 A Norma de Desempenho	25
2.2.1 Desempenho térmico de edificações	31
2.2.2 Desempenho acústico de edificações	39
2.2.3 Desempenho lumínico natural de edificações	46
3 Metodologia	53
3.1 Modelo de referência	54
3.1.1 Dimensões e posicionamento	54
3.1.2 Sistemas de vedação vertical externo (fachada).....	56
3.1.3 Sistemas de vedação vertical interno	59
3.1.4 Sistemas de piso.....	61
3.1.5 Sistemas de cobertura.....	64
3.1 Método de análise de desempenho térmico	67
3.1.1 SketchUp8 / EnerenergyPlusV8.....	68
3.2 Método de análise de desempenho acústico	73
3.2.1 Insul	73
3.2.2 Sonarchitect ISO Professional	80
3.3 Método de análise de desempenho lumínico natural	84
3.3.1 DIALux Evo 8.0	84

4	Resultados e análises	89
4.1	Desempenho térmico	89
4.1.1	Variações no Sistema de Vedações Verticais Externos	89
4.1.2	Variações no Sistema de cobertura	92
4.1.3	Nível de influência das variações simuladas	95
4.2	Desempenho acústico	97
4.2.1	Variações no SVVE	97
4.2.2	Variações no SVVI.....	101
4.2.3	Variações no Sistema de Piso	105
4.2.4	Nível de influência das variações simuladas	110
4.3	Desempenho lumínico natural	112
4.3.1	Nível de influência das variações simuladas	114
4.4	Compilação.....	116
5	Conclusões	118
	REFERÊNCIAS	121

1 Introdução

1.1 Importância e justificativa

O conceito de qualidade de habitações no Brasil sempre esteve associado a avaliações subjetivas, o que gera dificuldades na concepção e comparação de projetos com o uso de processos construtivos e materiais distintos, ou até mesmo com soluções inovadoras, diferentes das convencionalmente utilizadas.

A entrada em vigor da NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho em 19 de julho de 2013 representou um importante marco para toda cadeia da construção por estabelecer objetivamente requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho da habitação relacionados ao seu comportamento em uso, independente dos processos construtivos ou materiais utilizados.

Apesar de o conceito ser simples, sua aplicação prática por todas as partes envolvidas na Construção Civil (incorporadores, construtores, fabricantes de materiais, órgãos de financiamento, universidades, institutos de pesquisa, laboratórios, etc.) é bastante difícil, pois além de envolver questões técnicas complexas e interesses políticos e econômicos, procura atender às exigências dos usuários de imóveis que são subjetivas, variáveis, crescentes e de difícil mensuração (BORGES, 2008).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica que os sistemas construtivos sejam avaliados considerando todos os componentes e elementos que o integram, desde camadas estruturais, se for o caso, até o seu revestimento final, considerando, inclusive, as interfaces entre as camadas.

A recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013) é para que os sistemas construtivos sejam avaliados não só quanto a materiais e estrutura, como requisitos relacionados à segurança estrutural, segurança contra incêndio e uso e operação, contra incêndio e uso e operação, mas também quanto a aspectos ligados à habitabilidade e sustentabilidade, tais como estanqueidade à água, conforto térmico e acústico, lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, durabilidade, manutenibilidade, entre outros. Essa abordagem possibilita conhecer, com certa antecedência, o comportamento em uso da edificação e seus sistemas.

Considerando a busca por otimização das soluções e custos nos processos executivos, com o objetivo de viabilizar economicamente os empreendimentos às limitações orçamentárias dos projetos imobiliários, as camadas de revestimento tem sido uma das principais alternativas de intervenção adotadas, passando pela utilização de novos materiais, redução da espessura, até a retirada completa de camadas de revestimento, eliminando etapas dos processos produtivos.

Pelo conceito clássico de (Sabbatini, 1989), o edifício pode ser considerado como um grande sistema, composto por diferentes subsistemas (fundação, estrutura, alvenaria, revestimento, esquadrias etc.), todos com sua respectiva importância e características. De uma maneira geral, todos esses subsistemas exercem algum tipo de influência no comportamento em uso do edifício (COSTA E SILVA, 2008).

Os revestimentos, além das funções de proteção e estética, também são responsáveis, sozinho ou em conjunto com outros sistemas, por alguns requisitos de desempenho: estanqueidade à água, isolamento térmico, isolamento acústico, segurança ao fogo e desgastes e abalos superficiais (PASSOS; CARASEK, 2019).

Contudo, a influência dessas camadas de revestimento no desempenho dos sistemas e no desempenho global final das unidades habitacionais ainda são pouco conhecidas por toda as partes envolvidas na construção civil brasileira e se faz necessário um aprofundamento nas análises de desempenho de forma que o conhecimento adquirido possa subsidiar alterações que viabilizem economicamente os projetos imobiliários sem comprometer o desempenho global final da edificação.

1.2 Objetivo geral

O objetivo desta dissertação é apresentar e discutir a influência do sistema de revestimento e demais componentes e elementos das vedações no desempenho térmico, acústico e lumínico natural de edifícios, a partir da realização de simulações computacionais, considerando os métodos e critérios das NBR 15575-1, NBR 15575-3, NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d) comparando diferentes soluções de tipos, cores, espessura das camadas de revestimento.

1.3 Delimitações

- As análises de desempenho contempladas nesta dissertação são restritas aos requisitos de desempenho térmico, desempenho acústico e desempenho lumínico natural, não sendo parte do seu escopo avaliações de outros requisitos de desempenho preconizados na NBR 15575 (ABNT, 2013);
 - Não foi escopo desse estudo a avaliação dos parâmetros ou métodos de cálculo utilizados pelos softwares de simulação computacional ou a acurácia dos seus resultados;
 - Apesar de servir como referência para análise comparativa da influência dos sistemas de revestimento no desempenho térmico, acústico e lumínico natural, os resultados apresentados são restritos ao modelo de referência utilizado;
 - Na simulação computacional de desempenho lumínico natural não foi considerado sombreamento gerado por edificações ou objetos no entorno;
 - Na simulação computacional de desempenho térmico foi considerada a cidade de Recife-PE, localizada na zona bioclimática 8, e, conseqüentemente, apenas a condição de verão, aplicável para a referida zona bioclimática;
- Nas simulações computacionais de desempenho térmico e lumínico natural foi considerada apenas a orientação com a janela do modelo de referência voltada para o oeste e a outra parede exposta voltada para o norte, seguindo recomendação da método de avaliação de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro é dedicado à introdução e contextualização do trabalho, apresentado a importância e justificativa que balizam o estudo da influência das camadas de revestimento no desempenho dos sistemas e no desempenho global da edificação, bem como apresentação dos objetivos e limitações do trabalho e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico, abordando o estado da arte sobre análises de desempenho de edificações habitacionais no Brasil, detalhando os requisitos, critérios e métodos de avaliação preconizados pelas NBR 15575-1, NBR 15575-3, NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d), especialmente referentes aos requisitos de desempenho térmico, acústico e lumínico, objetos do estudo.

O capítulo 3 trata da metodologia. Descreve o modelo de referência utilizado nas análises e caracteriza os componentes, elementos e sistemas empregados no estudo e detalha os métodos de avaliação utilizados nas análises de desempenho acústico, lumínico natural e térmico.

Os resultados e respectivas análises são apresentadas no quarto capítulo. Comparando os resultados de desempenho de diferentes sistemas construtivos, obtidos a partir da variação de camadas de revestimentos, entre si, este capítulo pretende apresentar parâmetros que viabilizem a análise da influência das camadas de revestimento no desempenho dos sistemas construtivos e desempenho global das edificações.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões e conclusões do autor sobre as análises comparativas realizadas, indicando limitações deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Um resumo do trabalho também é apresentado no início, e a bibliografia pesquisa da é citada no final.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Histórico das análises de desempenho de edificações no Brasil

A ligação do homem com a construção, especialmente construção de habitações, é remota e se entrelaça com a própria História evolutiva da humanidade e sociedade. Roméro e Ornstein (2003) citam o código de Hamurabi como uma evidência de preocupação com a qualidade na construção civil. O referido código, conjunto de leis criada na mesopotâmia, por volta do século XVIII a.C., na primeira dinastia babilônica já versava sobre construção e suas responsabilidades, conhecido como “olho por olho, dente por dente”, no seu conjunto de regras já previa que se um construtor erguer uma casa, e a casa desabar e matar o morador, o construtor será imolado – sacrificado –, morto como vingança.

Levando em consideração que o código de Hamurabi não prescreve como a casa deve ser construída, os tipos dos materiais que devem ser utilizados, a largura, a dimensão e partes da construção ou o método da construção, definindo apenas o resultado final que deve ser atingido: a construção não pode entrar em colapso e matar alguém. O comportamento em uso da construção é claramente definido, ou seja, possivelmente o código de Hamurabi tenha sido a primeira norma de desempenho de edificações habitacionais do mundo, já estabelecendo exigências, no caso para segurança estrutural.

O estabelecimento de exigências funcionais para os edifícios e suas partes advém da premissa óbvia de que os edifícios, sendo indispensáveis à vida e à atividade do homem, devem possuir características que correspondem e satisfaçam as necessidades humanas. Em outras palavras, o estabelecimento de exigências funcionais para edifícios trata-se de uma prescrição de desempenho (GOMES, 2015).

A palavra desempenho é amplamente utilizada por toda sociedade e possui um significado bastante amplo. É utilizado para avaliação de hardwares, análise de profissionais e negócios e nos esportes, por exemplo. É comum utilizar desempenho para comparar profissionais e equipamentos sendo, de forma geral, definido um padrão desejável, muitas vezes informalmente, para efeito de comparação com o desempenho entregue.

Uma visão mais moderna de desempenho começou a ser estruturada no século XX, onde estudos foram propostos pelo *National Bureau of Sciences (NBS)* durante a década de 1920. Nas décadas de 1930 e 1940, ocorreu o desenvolvimento das primeiras normas de desempenho e surgiu a expressão inglesa *performance requirements*¹ (LORENSI, 2015).

Após a segunda guerra mundial e a consequente da necessidade de construção de edifícios em larga escala no movimento de reconstrução, principalmente na Europa, a aplicação de tecnologias e sistemas construtivos inovadores à época causou a incidência de elevados casos de manifestações patológicas, gerando ônus econômicos e sociais elevados. Diante desse cenário, a necessidade de uma análise mais criteriosa do desempenho dos sistemas construtivos utilizados se mostrou muito relevante.

A partir do final da década de 1960, os Estados Unidos da América e alguns países europeus se dedicaram a aprofundar os estudos e empenhar-se para solidificar a aplicação do conceito de desempenho às edificações, sendo o livro *Savoir bâtir: habitabilite, durabilite, economie des batiments*, (Saber construir: habitabilidade, durabilidade, economia dos edifícios) de Gerard Blachère reconhecido como uma importante publicação no tema, que conceitua desempenho das edificações como o comportamento em uso durante determinada vida útil (SOUZA; KERN; TUTIKIAN, 2018).

A ISO² 6241 - *Performance Standards in Building: Principles for their Preparation and Factors to be Considered*, publicada em 1984, é um importante marco de regulamentação para desempenho de edificações. A ISO 6241 estabelece princípios gerais para a elaboração de padrões de desempenho na construção civil expressa em requisitos funcionais dos usuários, fazendo a ligação entre o desempenho de edificações e as exigências dos usuários.

O objetivo desta Norma foi o de auxiliar os países signatários da ISO na elaboração de Normas de Desempenho, e servir como guia para a seleção dos requisitos que podem ser aplicados em cada caso, quando se fala em desempenho de edifícios

¹ Requisitos de desempenho

² Internacional Organization for Standardization

(BORGES, 2008). As Tabela 1 e Tabela 2 apresentam os requisitos dos usuários considerados na ISO 6241.

Tabela 1 - Requisitos dos usuários

Categoria	Exemplos
1.Requisitos de estabilidade	Resistência mecânica a ações estáticas e dinâmicas, tanto individualmente quanto em combinação. Resistência a impactos, ações abusivas intencionais ou não, ações acidentais, efeitos cíclicos.
2. Requisitos de segurança contra incêndio	Riscos de irrupção e de difusão de incêndio, respectivamente. Efeitos psicológicos de fumaça e calor. Tempo de acionamento de alarme (sistemas de detecção e de alarme). Tempo de evacuação da edificação (rotas de saída). Tempo de sobrevivência (compartimentalização do fogo)
3. Riscos de segurança em uso	Segurança relativa a agentes agressivos (proteção contra explosões, queimaduras, pontos e bordas cortantes, mecanismos móveis, descargas elétricas, radioatividade, contato ou inalação de substâncias venenosas, infecção). Segurança durante movimentação e circulação (limitação de escorregamento nos pisos, vias não obstruídas, corrimões, etc.). Segurança contra a entrada indevida de pessoas e/ou animais.
4. Requisitos de vedação	Vedação contra água (de chuva, do subsolo, de água potável, de águas servidas, etc.). Vedação de ar e de gás. Vedação de poeira e de neve.
5. Requisitos térmicos e de umidade	Controle de temperatura do ar, da radiação térmica, da velocidade do ar e da umidade relativa (limitação de variação em tempo e no espaço, resposta de controles). Controles de condensação.
6. Requisitos de pureza do ar	Ventilação. Controle de odores.
7. Requisitos acústicos	Controle de ruídos internos e externos (contínuos e/ou intermitentes). Inteligibilidade sonora. Tempo de reverberação.

Fonte: Adaptado de ISO 6241 (ISO, 1984)

Tabela 2 - Requisitos dos usuários - Continuação

Categoria	Exemplos
8. Requisitos visuais	<p>Iluminação natural e artificial (iluminação necessária, estabilidade, contraste luminoso e proteção contra luz muito forte. Luz solar (insolação).</p> <p>Possibilidade de escuridão. Aspectos de espaços e de superfícies (cor, textura, regularidade, nivelamento, verticalidade, horizontalidade, perpendicularidade, etc.).</p> <p>Contato visual, internamente e com o mundo exterior (encadeamentos e barreiras referentes à privacidade, proteção contra distorção ótica).</p>
9. Requisitos táteis	<p>Propriedades das superfícies, aspereza, seca, calor, elasticidade.</p> <p>Proteção contra descargas de eletricidade estática.</p>
10. Requisitos dinâmicos	<p>Limitação de vibrações e acelerações de todo o conjunto (transientes e contínuas).</p> <p>Comodidade dos pedestres nas áreas expostas ao vento.</p> <p>Facilidade de movimentação (inclinação das rampas, disposição dos degraus de escadas).</p> <p>Margem de manobras (manipulação de portas, janelas, controle sobre equipamentos, etc.).</p>
11. Requisitos de higiene	<p>Instalação para cuidados e higiene do corpo humano. Suprimento de água.</p> <p>Condições de feitura de limpeza.</p> <p>Liberação de águas servidas, materiais servidos e fumaça.</p> <p>Limitação de emissão de contaminantes.</p>
12. Requisitos para a conveniência de espaços destinados a usos específicos	<p>Quantidade, tamanho, geometria, subdivisão e inter-relação de espaços. Serviços e equipamentos.</p> <p>Condições (capacidade) de mobiliamento e flexibilidade.</p>
13. Requisitos de durabilidade	<p>Conservação (permanência) de desempenho com relação à necessária vida útil de serviços sujeitos à manutenção regular.</p>
14. Requisitos econômicos	<p>Custos de manutenção, operacionais e de capital.</p> <p>Custos de demolição.</p>

Fonte: Adaptado de ISO 6241 (ISO, 1984)

Publicada em 1984, a ISO 6142 (ISO, 1984) ainda se configura como uma referência válida e importante para definição dos requisitos de desempenho de edificações, sendo talvez sua principal lacuna em relação aos requisitos contemporâneos a sustentabilidade, tendo em vista que à época o tema não possuía a relevância atual.

A exemplo do ocorrido na Europa na época do pós-guerra, nas décadas de 1970 e 1980 no Brasil a construção de edificações em larga escala induziu a utilização de novas técnicas e tecnologias construtivas. Nesse período, conhecido como “milagre brasileiro”, foi priorizada a produtividade, sem haver critérios técnicos claros para avaliação das inovações adotadas para viabilização dessa produtividade.

Ainda nas décadas de 1970 e 1980, foram desenvolvidos pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, por solicitação do BNH – Banco Nacional de Habitação, estudos sobre desempenho de edificações, considerados como os primeiros estudos sobre o tema no Brasil.

Contudo, as primeiras publicações sobre o tema no Brasil reportam utilizações inadequadas de técnicas e sistemas construtivos inovadores relativos aos requisitos funcionais dos usuários, e relação com as condições de exposições expostas às edificações.

Segundo (FERREIRA, [s.d.]), a maior parte das soluções inovadoras implantadas no país, principalmente na construção de conjuntos financiadas pelo extinto BNH, tiveram componentes e sistemas construtivos introduzidos sem que os mesmos tivessem uma avaliação técnica adequada para que se pudesse, assim, prever o seu comportamento durante a vida útil. Assim, nestes casos, houve uma avaliação de desempenho pós-ocupação, onde os usuários serviram de “cobaias”, e sendo os mesmos penalizados com os problemas patológicos e com os custos de manutenção e reposição que foram consequência do uso de novos produtos mal desenvolvidos e sem avaliação técnica adequada.

Em resumo, ocorreu no Brasil o mesmo processo de desenvolvimento de inovações tecnológicas de componentes e sistemas construtivos do pós-guerra na Europa, sem a devida análise de desempenho e com grande incidência de manifestações patológicas acarretando num ônus econômico e social para todos os intervenientes da cadeia da construção.

Como exemplo desse processo de inovações tecnológicas sem uma análise de desempenho mais detalhada, citam-se os casos dos “prédios caixaão” construídos na Região Metropolitana do Recife. (Melo, 2007) cita em sua dissertação que desde 1977 foram registrados desabamentos de 12 edificações em Recife e 50 prédios seguiam interditados em Olinda. O estudo lembrou ainda que estimativas do ITEP – Instituto

Tecnológico de Pernambuco afirmam que, pelo menos um em cada dez mil edifícios no Estado, pode ruir. Um número alarmante, tendo em vista a consequência dessa falha de desempenho.

Segundo Lorensi (2015), em decorrência dos acontecimentos, e com o enfoque de fomentar a qualidade das obras e alavancar o setor da construção civil, a CEF – Caixa Econômica Federal encomendou ao IPT um estudo sobre o tema, que transcorreu de 1981 a 1997. Um dos trabalhos pioneiros no assunto foi publicado no livro “Tecnologia de Edificações”, lançado pelo IPT, em 1988, com ênfase na avaliação de desempenho de sistemas construtivos para edificações habitacionais. Durante esse período, segundo Manso, Marco A. e Mitidieri Filho, Cláudio V. (2007), o IPT desenvolveu, com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o trabalho intitulado “Normas Mínimas de Desempenho”, concluído em 1995.

Em 1997, a Caixa Econômica Federal contratou o IPT para revisar o trabalho feito em 1981, e outros estudos foram feitos da mesma forma que o elaborado em 1999 pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção. Considerando a existência de várias referências desenvolvidas de forma independente, a Caixa Econômica Federal e o meio técnico identificaram a necessidade de harmonizá-las, transformando-as em normas técnicas que facilitariam ainda mais o processo de avaliação. Para elaboração dessas Normas, a Caixa Econômica Federal, com o apoio do Finep, financiou o projeto de pesquisa “Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações”, no ano de 2000, (BORGES, 2008).

Percebe-se que a Norma de Desempenho no Brasil surgiu da necessidade de referência para análise de sistemas construtivos inovadores, predominantemente utilizados para construção de Habitações de Interesse Social. O professor Orestes Marraccini³, em entrevista concedida a Borges (2008), indica que “o apoio da CEF ao projeto da Norma de Desempenho foi motivado simplesmente pela criação de uma referência para a avaliação de sistemas construtivos inovadores; não era para ser uma norma aberta ao setor.”.

³ O Professor Orestes Marraccini era o Presidente do Cobracon (Comitê Brasileiro da Construção Civil) no ano de 2000, época da criação da Comissão de Estudos da Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios.

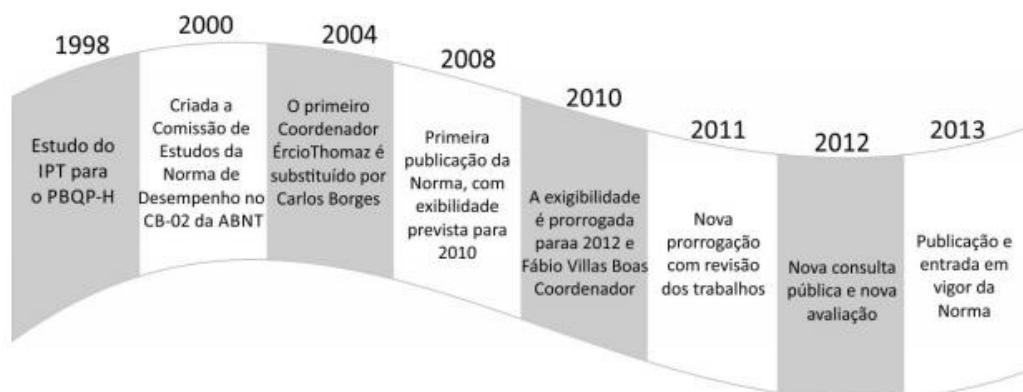
No ano 2000 foi criada uma Comissão de Estudos e grupos de trabalho com o objetivo de coordenar a discussão sobre desempenho de edificações no meio técnico, buscando consenso para a transformação do produto em Norma Brasileira, no âmbito da ABNT. O coordenador eleito para a Comissão de Estudos em 2000 foi o Engenheiro Ércio Thomaz, do IPT. Num segundo momento, em 2004, foi eleito um novo coordenador para a Comissão de Estudos do Projeto da Norma de Desempenho, Carlos Alberto de Moraes Borges, que permaneceu no cargo até a publicação da primeira versão da referida Norma, em 12 de maio de 2008, sendo sua exigibilidade prevista para 2010.

Em 2010, com a proximidade da data prevista para efetiva exigibilidade da Norma de desempenho, a cadeia da construção entendeu como necessário a ampliação da discussão e um período de adaptação maior para que intervenientes da cadeia da construção pudessem se adequar aos requisitos da Norma. Sendo assim, na prática, a versão ABNT NBR 15575:2008 não chegou a entrar em vigor e teve sua exigibilidade prorrogada para 2012.

Ainda em 2010 foi eleito um novo coordenador para a comissão de estudo, Fábio Villas Boas, que conduziu um novo processo de discussão e revisão do texto da Norma. O novo texto foi posto em consulta pública em 2012 sendo publicado e entrado em vigor em 2013. Esta versão da Norma segue em vigor até o presente momento, contudo uma nova comissão de estudo está aberta, ainda sob a coordenação de Fábio Villas Boas, conduzindo discussões com objetivo de revisar a Norma e publicar uma nova versão no ano de 2020.

A Figura 1 apresenta um breve resumo do histórico dos estudos de desempenho de edificações e da Norma de desempenho no Brasil.

Figura 1 - Histórico da Norma Brasileira de Desempenho edificações



Fonte: (AMARAL NETO et al., 2013)

2.2A Norma de Desempenho

A popularmente conhecida Norma de Desempenho trata-se uma norma técnica da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho.

Cabe ressaltar que a NBR 15575 é dividida em 6 partes, sendo que a primeira trata dos requisitos gerais da edificação e as seguintes trata de requisitos de suas partes, representadas por sistemas. Essa divisão deixa claro o conceito de análise da análise global da edificação e das partes que a compõe. Então, as seis partes da NBR 15575 são:

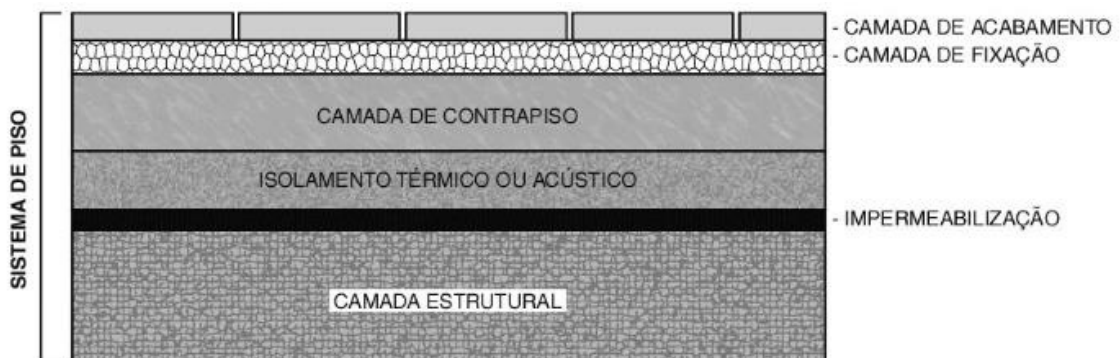
- NBR 15575-1: Requisitos gerais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013).
- NBR 15575-2: Requisitos para os sistemas estruturais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013).
- NBR 15575-3: Requisitos para os sistemas de pisos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013).

- NBR 15575-4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013).
- NBR 15575-5: Requisitos para os sistemas de cobertura – SC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013).
- NBR 15575-6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-6: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013).

Pode-se observar pela divisão das partes da NBR 15575 que a análise de desempenho é especificada para a edificação e seus sistemas. Portanto, o entendimento do conceito de sistema é muito importante e a própria norma define sistema como “maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinado a atender uma macrofunção que o define.”

A Figura 2 exemplifica um sistema de piso, onde pode-se identificar intuitivamente que o desempenho final do sistema vai depender da característica dos componentes e elementos que o compõe.

Figura 2 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos



Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013b)

Segundo definição da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), desempenho é o “comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas”. Essa definição deixa claro o conceito de abrangência para todas as edificações habitacionais, independente dos sistemas construtivos, elementos e componentes utilizados, pois o objeto da Norma é comportamento em uso da edificação e suas partes.

Esse viés é diferente da maioria das Normas técnicas da ABNT relacionadas à construção civil, que tem como foco a prescrição de métodos de dimensionamento e execução de componentes, elementos e sistemas construtivos específicos.

A definição de desempenho da NBR 15575 explicita também a relação íntima com os requisitos dos usuários e as condições de exposição as quais a edificação está exposta, sendo o principal objetivo da NBR 15575 estabelecer requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos, representados por cada parte da Norma.

Requisitos de desempenho, segundo a própria Norma, representam as condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender as necessidades do usuário. Utilizando o desempenho acústico de fachada como exemplo, o requisito do usuário é o isolamento acústico dos ruídos provenientes do exterior da edificação. O requisito não expressa valores, sendo naturalmente qualitativo.

A definição dos requisitos de desempenho da NBR 15575 seguiu a linha conceitual da ISO 6147 considerando o entendimento de que os requisitos estabelecidos na Norma representam os requisitos dos usuários. Os requisitos estabelecidos são apresentados a seguir agrupados por categoria: Segurança; Habitabilidade; Sustentabilidade.

- Segurança
 - Segurança estrutural
 - Segurança contra incêndio
 - Segurança no uso e operação
- Habitabilidade
 - Estanqueidade
 - Desempenho térmico

- Desempenho acústico
- Desempenho lumínico
- Saúde, higiene e qualidade do ar
- Funcionalidade e acessibilidade
- Conforto tátil e antropodinâmico
- Sustentabilidade
 - Durabilidade e manutenibilidade
 - Impacto ambiental

A Tabela 3 apresenta a quantidade de requisitos específicos para cada requisito e categoria de desempenho.

Tabela 3 - Número de requisitos específicos de desempenho constantes na NBR 15575 separados por requisito e categoria

Categoria	Requisito	Nº de requisitos específicos	
Segurança	Segurança estrutural	29	68
	Segurança contra incêndio	20	
	Segurança no uso e operação	19	
Habitabilidade	Estanqueidade	16	60
	Desempenho térmico	6	
	Desempenho Acústico	12	
	Desempenho lumínico	3	
	Conforto tátil e antropodinâmico	4	
	Saúde, higiene e qualidade do ar	9	
	Funcionalidade e acessibilidade	10	
Sustentabilidade	Durabilidade e manutenibilidade	19	21
	Adequação ambiental	2	
TOTAL		149	

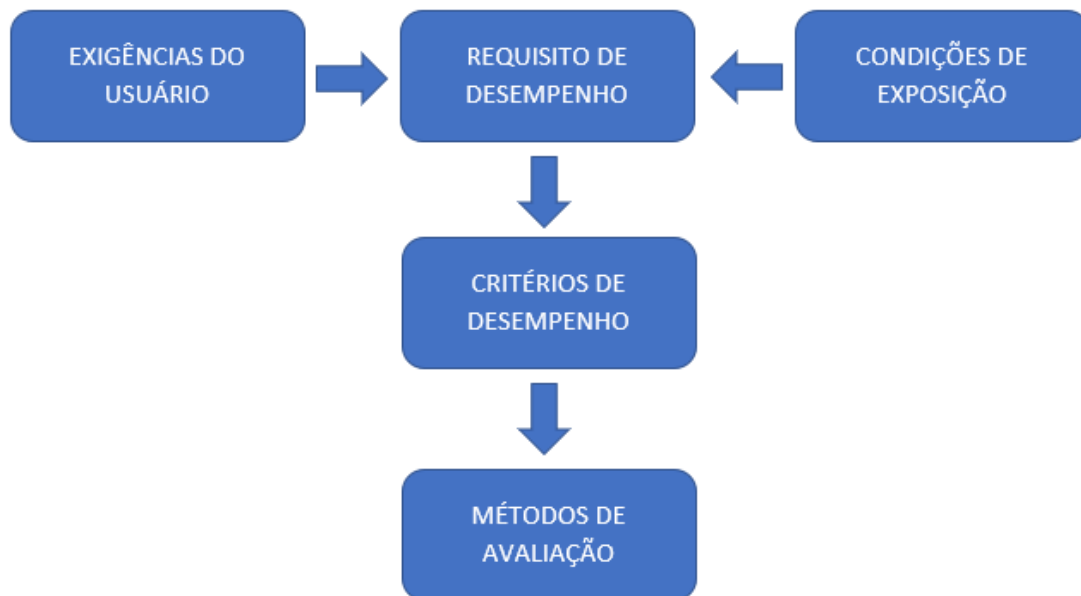
Fonte: (Autor, 2020)

Diante da necessidade de apresentar valores a norma estabelece critérios de desempenho para cada requisito. Por definição, critérios são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados. Seguindo com o exemplo do desempenho acústico de fachadas, o critério para o requisito de isolamento acústico dos ruídos externos estabelecido pela norma é de 25 decibéis, considerando a classe de ruído II, que representa a condição de exposição.

Ou seja, o critério expressa um valor para o requisito de desempenho, o que o torna tangível, mensurável, e para aferição desses valores são estabelecidos, para cada requisito e critério de desempenho, métodos de avaliação. O objetivo dos métodos de avaliação é garantir a uniformidade e representatividade das medições e, conseqüentemente, das análises. Ou seja, independente do responsável pela medição do isolamento acústico da fachada, por exemplo, o resultado deve ser o mesmo, pois o método utilizado é padronizado e estabelecido na própria NBR 15575.

Em resumo, a metodologia da análise de desempenho passa necessariamente pelo tripé requisito, critério e método de avaliação. Cabe ressaltar que o requisito é uma expressão das exigências dos usuários e das condições de exposição às quais o edifício e suas partes estão expostos.

A Figura 3, a seguir, apresenta esquematicamente a metodologia de avaliação de desempenho.

Figura 3 - Metodologia de avaliação de desempenho

Fonte: (Autor, 2020)

Outro ponto importante definido na NBR 15575, que traz uma relevância jurídica importante para a norma, é a atribuição de incumbências e responsabilidades dos intervenientes envolvidos na concepção, construção e uso da edificação. O NBR 15575 classifica e atribui as seguintes responsabilidades para os intervenientes:

- **Fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema:** Cabe ao fornecedor de sistemas caracterizar o desempenho, de acordo com a NBR 15575. Os fornecedores de componentes e elementos devem caracterizá-los de acordo com as respectivas normas prescritiva aplicáveis e, caso estas não existam, fornece resultados comprobatórios de desempenho com base na NBR 15575 e normas específicas internacionais ou estrangeiras.
- **Projetista:** Cabe ao projetista o papel de especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho estabelecido com base nas normas prescritivas e no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados em projeto.
- **Construtor e incorporador:** Cabe ao incorporador providenciar estudos técnicos específicos para identificação de riscos previsíveis na época de

projeto. Ao construtor ou incorporador cabe a elaboração do manual de uso e operação da edificação a ser entregue ao proprietário da unidade habitacional e ao síndico, no caso do manual de uso, operação e manutenção das áreas comuns.

- **Usuário:** Ao usuário cabe a realização de manutenções de acordo com o estabelecido na NBR 5674 (ABNT, 2012) e o manual de uso, operação e manutenção da edificação.

Apresentar responsabilidades dos intervenientes ressalta a necessidade do conhecimento sobre as características dos componentes e elementos, inclusive as camadas de revestimento, que compõem os sistemas, principalmente por parte dos projetistas e fornecedores de componentes, elementos e sistemas construtivos.

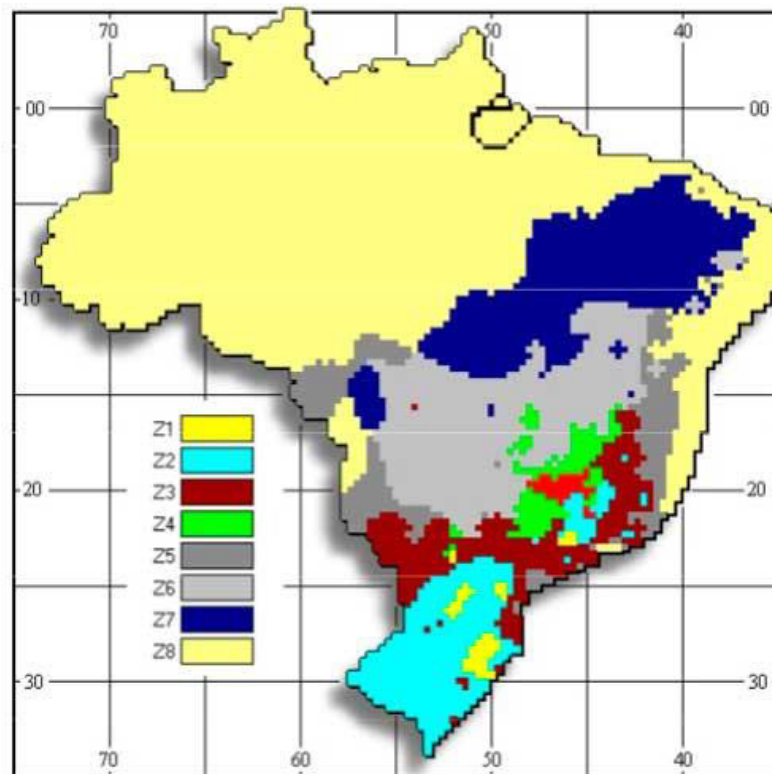
“A qualidade dos produtos associada a um permanente aumento de eficiência certamente serão atributos que irão diferenciar e privilegiar as empresas que atuam com esses critérios nos diversos setores da cadeia produtiva da construção, cujo elo inicial, ou ponto de partida, é o projeto (arquitetônico e de engenharia), responsável por definir a edificação em suas características fundamentais (forma/ desenho, sistema construtivo, subsistemas componentes etc.)”(SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA CONSULTIVA, 2015)

Nos próximos capítulos serão conceituados brevemente os requisitos de desempenho térmico, acústico e lumínico, que são objeto deste estudo.

2.2.1 Desempenho térmico de edificações

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece que “a edificação habitacional deve reunir características que atendam aos requisitos de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3 (ABNT, 2005a), apresentado na Figura 4. Esta norma apresenta também, em seu anexo A, relação das 330 cidades brasileiras cujos climas foram classificados.

Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a)

Em outras palavras, a Norma de Desempenho especifica que sejam utilizados componentes, elementos e sistemas de forma a atender aos requisitos e critérios de desempenho térmico. Estes requisitos e critérios são estabelecidos em função da zona bioclimática na qual a edificação está ou será implantada, ou seja, varia de acordo com a condição de exposição.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) preconiza três procedimentos como métodos de avaliação de desempenho térmico: Procedimento de Medição; Procedimento Simplificado; Procedimento de Simulação Computacional.

O procedimento de medição é baseado na avaliação de desempenho térmico via medições da temperatura *in loco* em edificações em escala real. O procedimento de medição é detalhado no Anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

A dificuldade de medição num dia que seja representativo de um dia típico de projeto, de inverno ou verão, traz uma grande incerteza na medição e este método é apenas informativo, ou seja, não tem valor normativo, de evidência ou comprovação de

desempenho, e não se sobrepõe aos outros métodos: simplificado ou de simulação computacional.

O procedimento simplificado é baseado no método de cálculo das propriedades térmicas prescrito na ABNT NBR 15220-2:2005⁴, mais especificamente transmitância e capacidade térmica, e visa a análise dos componentes e elementos da envoltória do edifício, sistemas de vedações verticais externos e do sistema de cobertura.

Por definição da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar a temperatura de um sistema em $\text{KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, e transmitância térmica é a transmissão de calor em um unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, dos vidros e dos elementos opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

Com critério para o procedimento simplificado, a Norma de Desempenho prescreve:

- Valores máximos para a transmitância térmica (U) das paredes externas, conforme apresentado na Tabela 4;
- Valores mínimos para capacidade térmica (CT) das paredes externas, conforme apresentado na Tabela 5;
- Valores máximo para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando o fluxo térmico descendente, conforme Tabela 6.

Tabela 4 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica (U)		
$\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a \geq 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \geq 2,5$
^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c)

⁴ ABNT NBR 15220-2: 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.

Tabela 5 - Capacidade térmica de paredes externas

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

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c)

Tabela 6 - 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 ≤ 2,3	α ^a ≤ 0,6	α ^a ≥ 0,6	α ^a ≤ 0,6	α ^a ≥ 0,6
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3FT	U ≤ 1,5FT

^a α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.
 NOTA: O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15575-5 (ABNT, 2013d)

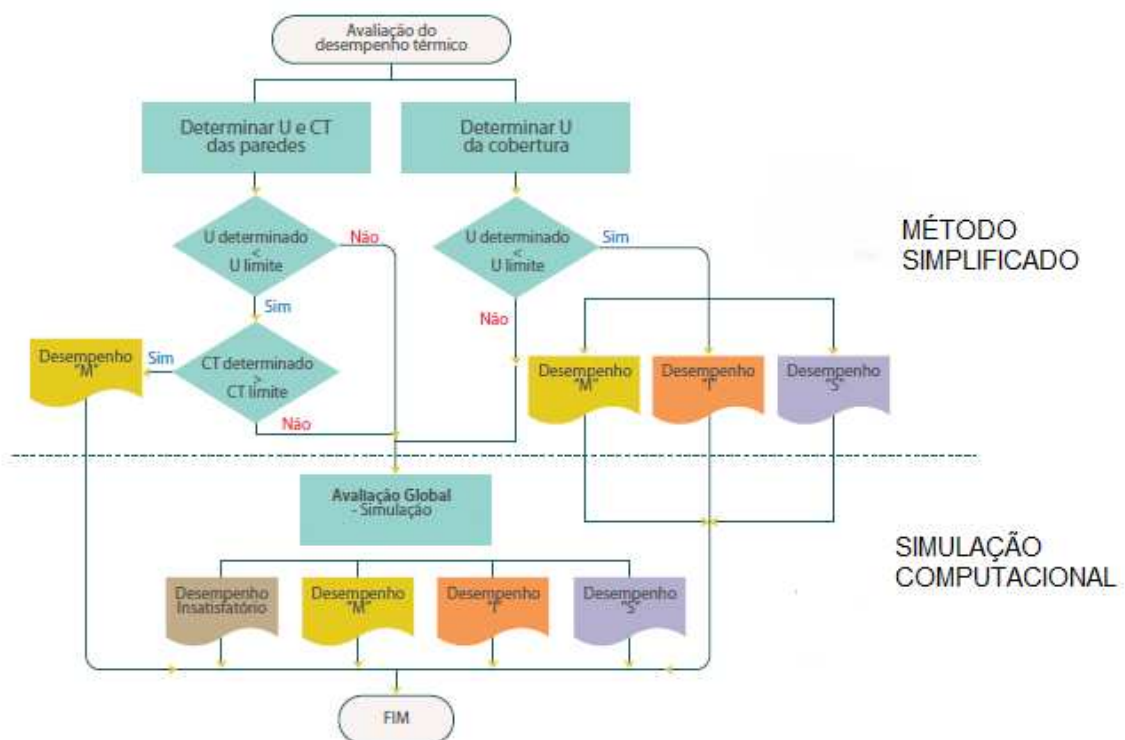
Apesar de ser um método prático e relativamente simples de avaliação do desempenho térmico, o método simplificado em algumas situações apresenta resultados incompatíveis com a realidade, como no caso de vedações externas com grandes áreas envidraçadas.

Os métodos simplificados, apesar de fornecerem uma ferramenta rápida para a avaliação do desempenho da edificação, podem compreender uma incerteza considerável em seus resultados. Muitas vezes estes métodos podem comprometer o processo de análise da edificação em questão (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

Caso a edificação não atinja os requisitos estabelecidos pelo método simplificado ou quando o responsável pela análise considera que este método é inadequado para análise, avalia-se pelo método de simulação. No método de simulação, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1:2013, por meio de simulação computacional do desempenho térmico da edificação como um todo.

O fluxo de análise normativa de desempenho térmico segundo a Norma de Desempenho adaptada do livro “Guia orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013” (CBIC, 2013) é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - – Fluxo de métodos de avaliação de desempenho térmico (Adaptado de (CBIC, 2013))



Fonte: Guia orientativo para atendimento da norma de desempenho (CBIC, 2013)

Para a realização das simulações computacionais e análise do desempenho térmico da edificação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) recomenda o emprego do programa EnergyPlus. Este programa calcula a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético da edificação, no clima que a edificação está inserida, e nos valores de cargas térmicas encontradas (MELO; LAMBERTS, 2008).

Outros programas de simulação podem ser utilizados, desde que permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de

exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e validados pela ASHRAE Standard 140 (KNEBEL et al., 2017).

Para a realização das simulações computacionais, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) recomenda a utilização da localização geográfica e dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno disponibilizados nas tabelas A.1, A.2 e A.3 da própria norma como referência.

Contudo, em nota, a Norma estabelece que arquivos climáticos gerados por instituições de reconhecida capacidade técnica (universidades ou institutos de pesquisas) podem ser utilizados, desde que a fonte seja devidamente referenciada e os dados sejam de domínio público.

Para o modelo computacional, a norma estabelece que a habitação deve ser considerada como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica, e as trocas térmicas entre ambientes. A edificação deve ser orientada conforme implantação e a unidade a ser avaliada deve ser a que tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico.

Para a composição dos sistemas de vedação, paredes internas e externas, sistemas de piso e cobertura devem ser utilizados as propriedades térmicas dos componentes e elementos construtivos que o compõem.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece uma condição de ventilação fixa de uma renovação de ar por hora (1ren/hora) para os ambientes, e a mesma taxa para de renovação de ar para a cobertura. Caso a edificação não atenda nessa condição, a Norma permite o aumento da taxa de ventilação para 5ren/h.

A Norma recomenda considerar ainda, para o método de simulação, que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou de vento. Caso a edificação atenda nessa condição, é permitido considerar o sombreamento, considerando a inserção de proteção solar interna ou externa da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar, no mínimo, 50% da radiação solar que entraria na janela.

As propriedades térmicas devem ser obtidas através de ensaios de laboratório, seguindo métodos apresentados na Tabela 7. Na ausência desses dados ou na

impossibilidade de obtê-los junto aos fabricantes, é permitido utilizar os dados disponibilizados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) como referência.

Tabela 7 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C518 ou ASTM C177 ou ISO 8302
Calor específico	ASTM C351 – 92b
Densidade de massa aparente	Medição conforme método de ensaio, preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ASTM C1371 – 04 ^a
Absortância à radiação solar	Medição ANSI/ASHRAE 74/88
Resistência ou transmitância térmica de elementos	Medição conforme NBR 6488 ou cálculo conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E903-96
Características foto energéticas (vidros)	EN 410 – 1988 / EN 12898

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)

O método de simulação computacional preconizado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) baseia-se na análise das temperaturas do ar no interior dos recintos de permanência prologadas, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, ou outros equipamentos).

Além do detalhamento das propriedades térmicas dos componentes e elementos de cada camada que compõe os sistemas de vedação, conforme apresentado, na simulação computacional é levado em consideração os aspectos geométricos do edifício e as temperaturas específicas da cidade onde da localização da edificação.

Para o nível de desempenho mímico, expresso como obrigatório na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), e a condição de verão, a temperatura interna máxima não pode ser

maior que a temperatura externa máxima, conforme apresentado na Tabela 8, considerando um dia típico de verão.

Tabela 8 - Critério mínimo para avaliação de desempenho térmico por simulação computacional para condições de verão

Nível de desempenho	Critério – Zona Bioclimática 8
M (Mínimo)	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
I (Intermediário)	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
S (Superior)	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$

T_{i,máx}. é o valor máximo diário de temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius
T_{e,máx}. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a).

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)

Para condições de inverno a temperatura interna mínima não pode ser menor que a temperatura externa mínima acrescida de 3°C, conforme apresentado na Tabela 9, considerando um dia típico de inverno.

Tabela 9 - Critério mínimo para avaliação de desempenho térmico por simulação computacional para condições de inverno

Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas não há critérios para condições de inverno

T_{i,mín}. é o valor mínimo diário de temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius
T_{e,mín}. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a).

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)

2.2.2 Desempenho acústico de edificações

“A edificação habitacional deve 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 de unidades autônomas diferentes” (ABNT, 2013a).

A definição da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) indica a necessidade de isolamento a ruídos gerados fora da unidade habitacional, seja gerado por unidade vizinha ou área comum da própria edificação ou por fontes externas à edificação. Analisando a norma podemos dividir o requisito de desempenho acústico em quatro grupos:

- Isolamento das vedações verticais externas aos ruídos aéreos;
- Isolamento das vedações verticais internas aos ruídos aéreos;
- Isolamento dos sistemas de piso aos ruídos aéreos;
- Isolamento dos sistemas de piso aos ruídos de impacto.

Antes de detalhar os critérios para cada requisito listado acima, é importante entender os métodos de avaliação preconizados na Norma de Desempenho:

- Método de precisão realizado em laboratório: Determina a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta e outros), fornecendo valores de referência de cálculo para projetos. O resultado obtido no ensaio de laboratório é o índice de redução sonora ponderado, representado pelo símbolo R_w , conforme apresentado na Tabela 10.
- Método de engenharia realizado em campo: Determina em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global das vedações, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método de engenharia é, de fato, o método válido para comprovação do desempenho acústico, pois considera o comportamento global da edificação em suas condições de uso. As medições em campo são representadas por três símbolos, referentes ao parâmetro medido e respectivo tipo de ensaio realizado, conforme apresentado na Tabela 10.
- Método simplificado de campo: Este método permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global a ruído aéreos dos sistemas de vedação em situações onde não se dispõe os equipamentos necessários para execução do

ensaio pelo método de engenharia. Tal método não tem valor normativo, ou seja, não serve como comprovação do desempenho.

Tabela 10 - Parâmetros acústico de verificação de desempenho acústico

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 16283-1 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em laboratório (paredes, pisos etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada	ISO 16283-3 ISO 717-1	Fachadas em edificações Fachadas e cobertura em casas térreas e sobrados
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 16283-2 ISO 717-2	Sistema de piso

NOTA Como as normas ISO referenciadas não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos nelas consignados com os seguintes significados:

R_w – índice de redução sonora ponderado (weighted sound reduction index).

$D_{nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada (weighted standardized level difference).

$D_{2m,nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada a 2m (weighted standardized level difference at 2m).

$L'_{nT,w}$ – nível de pressão sonora de impacto padronizado (weighted standardized impact pressure level).

Fonte: Adaptado de NBR 15575-3, NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (ABNT, 2013b, 2013c, 2013d)

Expostos os requisitos e métodos de avaliação de desempenho acústico da Norma de Desempenho, é importante apresentar os critérios, os valores para quantificação dos requisitos.

No que se refere ao isolamento a ruídos aéreos das vedações verticais externas, um fator decisivo para definição do critério de avaliação é classe de ruído de entorno, que representa a condição de exposição da edificação.

Considerando que uma unidade habitacional exposta a um maior nível de ruído terá, conseqüentemente, que possuir um maior isolamento, a Tabela 11, a seguir, apresenta os critérios para isolamento das vedações verticais externas (fachadas), de acordo com a classe de ruído de entorno.

Tabela 11 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis na classe I ou III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30
<p>NOTA 1 Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.</p> <p>NOTA 2 Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.</p>		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c)

Analisando a Tabela 11 pode-se observar que o critério de isolamento a ruídos externos é aplicável apenas para os dormitórios e que a definição da localização e, conseqüentemente, da classe de ruído, é bastante subjetiva.

Levando em consideração a subjetividade na definição da classe de ruído de entorno e as edificações localizadas próximo a aeroportos, estádios, rodovias, ferrovias e outros entornos nos quais a Norma de Desempenho recomenda estudos específicos para classificação do ruído de entorno, a Proacústica – Associação Brasileira para a Qualidade Acústica – lançou um Manual com o objetivo de trazer informações mais claras a respeito do assunto.

Dentre outras informações, o Manual Proacústica para classe de ruído das edificações habitacionais (PROACÚSTICA, 2017) estabelece um critério objetivo para definição da classe de ruído de entorno, baseado no nível de pressão sonora equivalente, $L_{Aeq,T}$, incidente nas fachadas, conforme apresentado na Tabela 12, adaptada da publicação e apresentada a seguir.

Tabela 12 – Níveis de pressão sonoras equivalentes, $L_{Aeq,T}$, incidentes nas fachadas das edificações para cada classe de ruído

Classe de ruído	Nível de pressão sonora equivalente $L_{Aeq,T}$	$D_{2m,nT,w}$ dB (Método de engenharia Ensaio em campo)
I	< 60dB	≥ 20
II	61dB a 65dB	≥ 25
III	66dB a 70dB	≥ 30

Fonte: Adaptado de Manual Proacústica para classe de ruído de entorno de edificações residenciais (PROACÚSTICA, 2017)

É importante registrar que o ruído de entorno é dinâmico, podendo variar com o desenvolvimento urbanístico da cidade, seja por implantações de novas vias, alterações de tráfego ou principalmente pela expansão imobiliária, como no caso de implantação de conjuntos habitacionais em áreas anteriormente pouco habitadas, conforme comprovado por (VERÍSSIMO et al., 2019).

No tocante ao isolamento a ruídos aéreos das vedações verticais internas, a Norma de Desempenho estabelece critérios para paredes de geminação, que dividem unidades habitacionais distintas, paredes cegas que dividem unidades habitacionais e áreas comuns, e conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes

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), no caso de pelo menos um dos ambientes ser 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 nos 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 ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	≥ 40

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c)

Pode-se observar que os critérios são mais rigorosos para ambientes de dormitórios, ambientes de repouso, onde naturalmente, em decorrência da própria natureza de uso, o usuário necessita de um menor nível de pressão sonora e, conseqüentemente, um maior isolamento acústico.

Em relação aos sistemas de piso, conforme requisitos apresentados anteriormente, além do isolamento a ruído aéreo são prescritos critérios para isolamento a ruído de impactos dispostos nas Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$

Elemento	$D_{nT,w}$ dB
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Sistema de piso separando unidades autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja dormitório	≥ 40
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	≥ 45

Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013b)

Analisando a Tabela 14, verifica-se que, além do critério mais rígido para o isolamento acústico dos dormitórios, equivalente aos critérios para vedações verticais.

É requerido também um maior isolamento a ruídos aéreos para os sistemas de piso que separam unidades habitacionais autônomas de áreas de uso coletivo de permanência prolongada, o que é explicado pelo condições de uso desses ambientes, que naturalmente tem um potencial de geração de ruídos mais elevados.

É importante ressaltar que para análise do isolamento a ruídos de impacto, diferentemente do que ocorre para o ruído aéreo, não é medida a diferença de nível de pressão sonora entre os ambientes de emissão e recepção. O método para aferição do isolamento a ruído de impacto é a medição direta do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, sendo o ruído gerando por equipamento padrão definido na ISO 16283-2. Ou seja, quanto maior o nível de pressão sonora de impacto medido, pior é o desempenho do sistema de piso.

Seguindo o mesmo entendimento de que as áreas de uso coletivo de permanência prolongada tem um maior potencial de geração de ruído exposto na análise de isolamento a ruído aéreo, pode-se observar na Tabela 15 que o critério para os

sistemas de piso de áreas comuns sobre unidades habitacionais também é mais rígido. Contudo, no caso do isolamento a ruído de impactos, a diferença numérica do valor é muito maior, de 25dB.

Tabela 15 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013b)

É importante ressaltar que o critério de isolamento acústico se refere ao sistema de vedação, e todos os elementos e componentes que o compõem, tais como, tipo de bloco no caso de alvenaria, esquadrias, elemento estrutural, camadas de revestimentos, tem influência no isolamento acústico final. Ou seja, é importante conhecer a contribuição de cada camada para dimensionar o sistema de vedação para atender aos critérios prescritos na Norma de Desempenho.

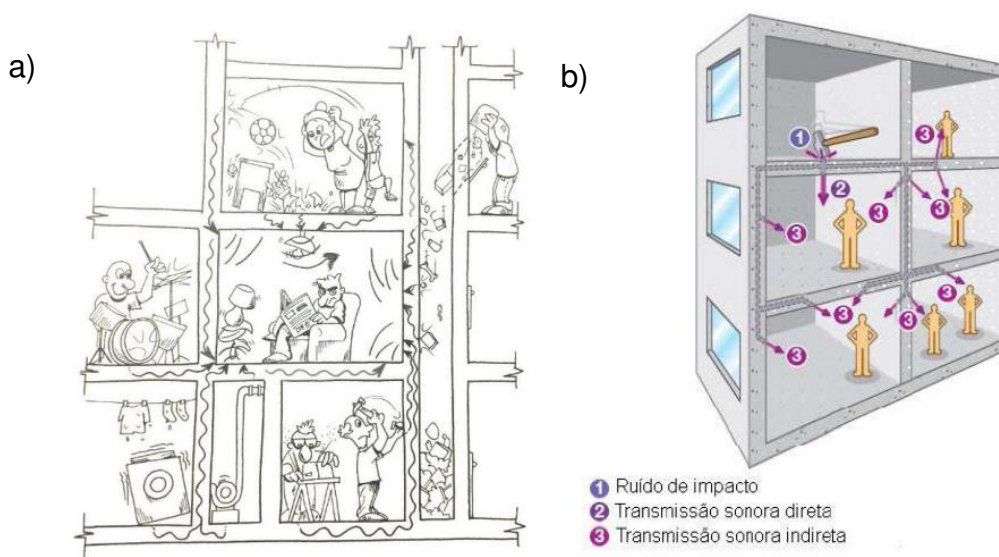
Sendo assim, para análise dos sistemas é importante entender as principais características dos materiais que interferem no isolamento acústico dos sistemas de vedação.

A variação de pressão sonora pela qual os elementos construtivos são submetidos, faz com que eles vibrem e essa vibração é controlada principalmente pela massa de superfície. Souza; Almeida e Brangança (2013) destacam que a massa do material influencia na eficiência do isolamento acústico dos elementos, no entanto, a importância da massa depende da frequência sonora, visto que para sons de baixa frequência, o aumento de massa é menos eficiente que para sons de alta frequência.

Nesse sentido pode-se dizer que o estudo de isolamento sonoro tem estreita relação com a lei das massas.

A lei das massas, apresentada no parágrafo anterior, tem uma ótima correlação com o isolamento considerando os ruídos aéreos, contudo, não tem aplicação satisfatória para ruídos gerados por impactos, que são transmitidos principalmente pela vibração dos próprios elementos do sistema de vedação, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Ilustrações de transmissão de ruídos gerados por impactos



Fonte: a) (Souza; Almeida; Bragança, 2013); b) (Cornacchia, 2009)

Diversos estudos têm sido feitos para buscar melhores métodos de isolar o ruído de impacto do piso, e o uso de pisos flutuantes têm sido os mais eficazes nesse quesito (SOUZA; KERN; TUTIKIAN, 2018).

2.2.3 Desempenho lumínico natural de edificações

O conforto visual é um importante fator a ser considerado na determinação da necessidade de iluminação em um edifício. Os ambientes construídos (internos e externos) são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais (como leitura, visão, manufaturas ou consertos).

Entre os muitos elementos no ambiente interno, a iluminação parece ter o maior impacto no corpo humano. Vários estudos investigaram os impactos da luz nas pessoas de diferentes pontos de vista por mais de um século. Esses estudos

demonstrar que a luz tem influências visuais e não visuais sobre pessoas. Entre diferentes fontes de iluminação, parece que a luz solar é a mais crucial e não pode ser facilmente substituída por luz elétrica por causa de sua qualidade dinâmica, bem como características espectrais. Além disso, é a fonte mais importante de vitamina D, necessária para a força dos ossos humanos e saúde geral. Além de seu papel como agente de vitamina D produção, luz natural pode melhorar o humor subjetivo, atenção, desempenho cognitivo, atividade física, sono qualidade e atenção em estudantes e trabalhadores. Todos esses fatores podem ser considerados aspectos-chave para otimizar o desempenho acadêmico e profissional desempenho (SHISHEGAR; BOUBEKRI, 2016).

Para que as pessoas possam desenvolver suas atividades de modo preciso, com o mínimo risco de acidentes e com menor esforço e risco à saúde visual, existe um conjunto de condições que são definidas como conforto visual (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Em estudo realizado em dois escritórios, (Borisuit et al., 2015) conclui que as diferentes condições de iluminação, particularmente a disponibilidade de luz natural, pode ser um indicador de satisfação no ambiente de trabalho.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) preconiza requisitos para desempenho lumínico natural e artificial, estabelecendo que:

- Durante o dia, as dependências da edificação habitacional das salas, dormitórios, copas/cozinhas e áreas de serviço devem receber iluminação natural conveniente, oriunda do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes.
- Para o período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança.

Contando unicamente com iluminação natural, objeto desse trabalho, a Norma Brasileira de Desempenho estabelece dois critérios, um para o método de avaliação por simulação computacional, outro para o método de medição *“in loco”*, apresentados nas Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 16 - Níveis de iluminância geral para iluminação natural

Dependência	Iluminação geral (lux) para o nível mínimo de desempenho M
Sala de estar Dormitório Copa/cozinha Área de serviço	≥ 60
Banheiro Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens/estacionamentos (demais ambientes)	Não requerido
<p>NOTA 1 Para edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência).</p> <p>NOTA 2 Os critérios desta tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.</p> <p>NOTA 3 Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.</p>	

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece que as simulações para avaliação do desempenho lumínico natural sejam realizadas considerando o plano horizontal, em períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro, e sua avaliação deve ser realizada com emprego do algoritmo apresentado na NBR 15215-3 (ABNT, 2013b), atendendo às seguintes condições:

- considerar a latitude e longitude do local da obra, supor dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50%);
- supor desativada a iluminação artificial, sem a presença de obstruções opacas (janelas e cortinas abertas, portas internas abertas, sem roupas estendidas nos varais etc.);
- simulações para ao centro dos ambientes, na altura de 0,75m acima do nível do piso;
- para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por casas ou sobrados, considerar todas as orientações típicas das diferentes unidades;
- para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por edifícios multipiso, considerar, além das orientações típicas, os diferentes pavimentos e as diferentes posições dos apartamentos nos andares;
- em qualquer circunstância, considerar os eventuais sombreamentos resultantes de edificações vizinhas, taludes, muros e outros possíveis anteparos, desde que se conheçam o local e as condições de implantação da obra.

Para simulação de desempenho lumínico são utilizados vários softwares disponíveis no mercado. Em levantamento realizado nos anais do XV ENCAC, realizado em 2019, foram identificados 15 artigos que utilizaram simulações computacionais de desempenho lumínico em suas metodologias. Nesses 15 artigos foram empregados 8 softwares distintos, apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Softwares de simulações de desempenho lumínico utilizados em pesquisas científicas

Software	Artigo (Referência)
TROPLUX	(TEIXEIRA et al., 2019)
DAYSIM	(GARCIA; PEREIRA, 2019)
	(CRISTINA et al., 2019)
DIALUX	(CEMENSATI; TESSARO; LUKIANTCHUKI, 2019)
DIVA/RHINOCEROS	(GABRIEL et al., 2019)
	(CARPANEDO et al., 2019)
	(BOLSSONI, GABRIELA; MARTINEZ, LUCAS; LARANJA, ANDRÉA; ALVAREZ, 2019)
	(FONTANA; FONSECA; PEREIRA, 2019)
LICASO	(GOIS et al., 2019)
	(TRAPANO, 2019)
APOLUX	(TECHIO et al., 2019)
RADIANCE/ENERGYPLUS	(RODRIGUEZ; NEVES, 2019)
	(PLAZAS, 2019)
AUTODESK REVIT	(FIGUEIRA; KRAI; OLIVEIRA, 2019)
	(QUEIRÓZ et al., 2019)

Fonte: (Autor, 2020)

Não foi identificada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) ou em outra referência bibliográfica adotada neste trabalho, justificativa para os dias e horários adotados como referência para aferição dos níveis de iluminância. Contudo, estas datas e horários são uma referência para a homogeneidade e representatividade das avaliações através do método de simulação.

Outro ponto que a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não deixa muito claro é a locação do ponto de medição no caso de ambientes integrados, como cozinha/área de serviço, sala/cozinha, dormitório/closet etc.

Tabela 18 - Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação

Dependência	Iluminação geral (lux) para o nível mínimo de desempenho M
Sala de estar Dormitório Copa/cozinha Área de serviço	≥ 0,50%
Banheiro Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens/estacionamentos (demais ambientes)	Não requerido
<p>NOTA 1 Para edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima.</p> <p>NOTA 2 Os critérios desta tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.</p> <p>NOTA 3 Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.</p>	

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)

Para método de avaliação de medição “in loco”, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) preconiza que as medições sejam realizadas no plano horizontal, com emprego de luxímetro portátil, erro máximo de $\pm 5\%$ do valor medido, no período compreendido entre 9h e 15h, nas seguintes condições:

- medições em dias com cobertura de nuvens maior que 50%, sem ocorrência de precipitações;
- medições realizadas com iluminação artificial desativada, sem a presença de obstruções opacas (janelas e cortinas abertas, portas internas abertas, sem roupas estendidas nos varais etc.);
- medições no centro dos ambientes, a 0,75m acima do nível do piso;

- para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por casas e sobrados, considerar todas as orientações típicas das diferentes unidades;
- para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por edifícios multipiso, considerar, além das orientações típicas, os diferentes pavimentos e as diferentes posições dos apartamentos nos andares;
- na ocasião das medições não pode haver incidência de luz solar direta sobre os luxímetros, em circunstância alguma;
- o fator de luz diurna (FLD) é dado pela relação entre a iluminância interna e a iluminância externa à sombra, de acordo com a seguinte equação:

$$FLD = 100 \times \frac{E_i}{E_e}$$

onde

E_i é a iluminância no interior da dependência;

E_e é a iluminância externa à sombra

O método de medição “in loco” apresenta uma certa complexidade levando em consideração que não é estabelecida metodologia para aferir o nível de cobertura de nuvens no céu. Essa interferência externa pode trazer diferenças importantes nas análises, que podem levar a resultados muito distintos no caso de medição em dias com nebulosidade distintas, por exemplo.

Outro ponto que o método não deixa muito claro é o período da medição, especificado entre 9h e 15h. Sabidamente a orientação solar nesses horários são opostas e, conseqüentemente, a iluminância nos ambientes internos vão ser significativamente diferentes.

Ademais, a exemplo do método de simulação computacional, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não deixa muito claro, é a locação do ponto de medição no caso de ambientes integrados, como cozinha/área de serviço, sala/cozinha, dormitório/closet etc.

Em suma, o método de medição “in loco” pode apresentar um grau de incerteza e variação relevantes entre resultados.

3 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho consistiu inicialmente na definição de um modelo de referência para as simulações computacionais de desempenho térmico, acústico e lumínico natural. Tal modelo de referência possui geometria, orientação e sistemas de vedações verticais e horizontais definidos.

O estudo baseou-se na variação das camadas dos sistemas de vedações verticais e horizontais, principalmente camadas de revestimento, e análise comparativa de desempenho em relação ao modelo de referência.

Como anteriormente descrito, o presente trabalho contempla a avaliação da influência dos sistemas de revestimentos no desempenho térmico, acústico e lumínico natural de edifícios. O estudo experimental foi realizado a partir de simulações computacionais (conforme prescrito nas diferentes normativas específicas) efetuados nos 3 referidos requisitos comparando o emprego de diferentes composições do sistema de revestimento, especialmente tipo de material, cor e espessura.

Visando comparar a influência dos sistemas de revestimentos no desempenho final relativa à influência de outros subsistemas, elementos e componentes dos sistemas de vedação, foram consideradas variações em componentes das vedações verticais, esquadrias externas (janelas), espessura do elemento estrutural do sistema de piso, tipologia do sistema de cobertura e isolantes térmicos e acústico.

Afim permitir uma avaliação comparativa, foi adotado um ambiente modelo de referência, com dimensões típicas de um quarto com as seguintes dimensões internas: largura igual a 2,60m; comprimento igual a 3,20m; e pé-direito igual a 2,60m.

Para a análise do desempenho térmico foi utilizado o método de simulação computacional prescrito na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Para análise do desempenho acústico foi utilizado o método de simulação computacional prescrito na ISO 12354-1:2017, ISO 12354-2:2017 e ISO 12354-3:2017 (ISO, 2017a, 2017b, 2017c).

Para análise de desempenho lumínico natural foi utilizado o método de simulação computacional prescrito na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

3.1 Modelo de referência

3.1.1 Dimensões e posicionamento

Para o modelo de referência foi adotado ambiente com área útil de piso de 8,32m², com dimensões 2,60m x 3,20xm, típica de dormitórios de edificações habitacionais de padrão econômico. A lei ordinária N^o 16.292/97 (Recife, 1997) especifica que os quartos de unidades habitacionais devem ter dimensões suficientes para inscrever um círculo com diâmetro de 2,40m.

Para o pé-direito foi fixada uma altura de 2,60m, mínimo permitido para salas e quartos pela lei ordinária N^o 16.292/97 (Recife, 1997) que regula as atividades de edificações e instalações, no município do Recife-PE. O pé direito do modelo foi mantido mesmo com as variações dos sistemas de piso e de cobertura.

Para possibilitar a análise do isolamento acústico das vedações verticais internas e das vedações horizontais, sistemas de piso, foram inseridos ambientes idênticos adjacentes ao de referência, complementando o modelo.

Para a localização da edificação e, conseqüentemente, os dados de temperatura e iluminação, foi considerada a cidade de Recife – PE, contida na Zona Bioclimática 8.

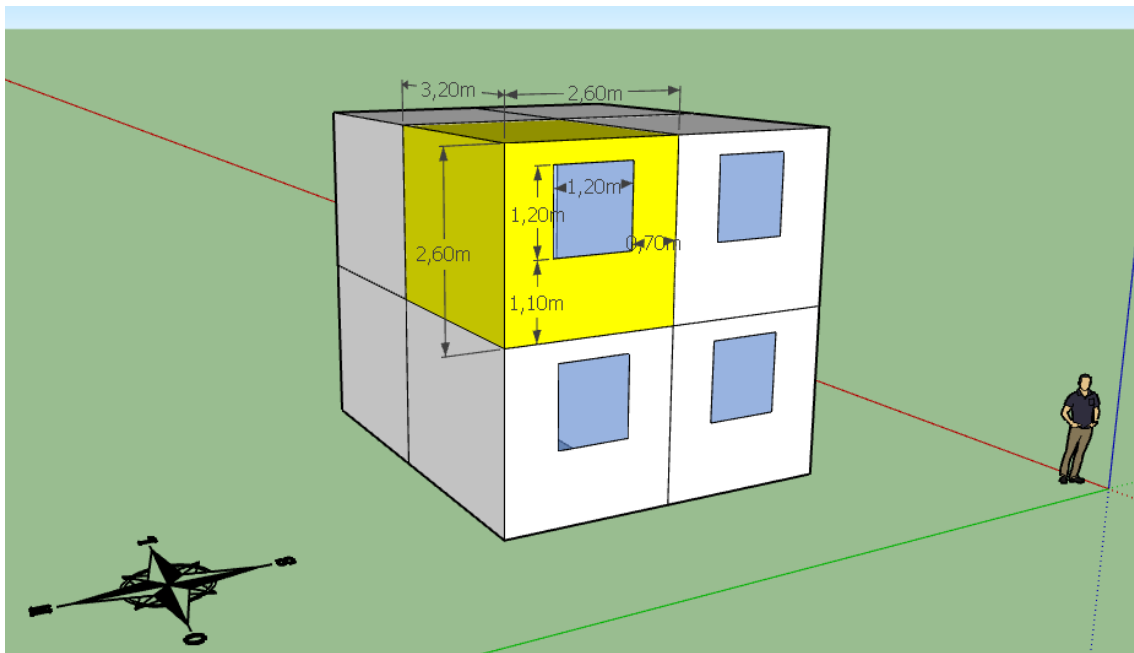
A orientação do modelo seguiu a orientação crítica em relação ao desempenho térmico no verão, seguindo recomendação do item 11.5.1 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a): “janela do dormitório ou da sala de estar voltada para o oeste e a outra parede exposta voltada para o norte”.

O modelo de referência utilizado no estudo não considerou o existência de vegetação ou edificações no entorno, apesar da influência do sombreamento ser conhecida e relevante no desempenho da edificação real. Corroborando com essa afirmação, em pesquisa realizada no hemisfério norte, (Chan, 2012) indica que o efeito causado por apartamentos adjacentes também reduz o ganho de calor solar em estação fria, resultando em um aumento da necessidade de energia para aquecimento.

Foi considerada na fachada do modelo a utilização de esquadria de correr com duas folhas móveis com dimensões 1,20m x 1,20m.

A Figura 7 apresenta croqui do modelo de referência utilizado para as simulações computacionais de desempenho térmico, acústico e lumínico natural. O ambiente preenchido em amarelo foi o avaliado nas simulações.

Figura 7 - Modelo de referência utilizado nas simulações computacionais (Cotas das dimensões internas do ambiente)



Fonte: (Autor, 2020)

Cabe ressaltar que o croqui apresentado é esquemático e as dimensões do ambiente apresentadas são internas, não sendo consideradas as espessuras das vedações verticais e horizontais: paredes externas e internas, sistemas de piso e de cobertura.

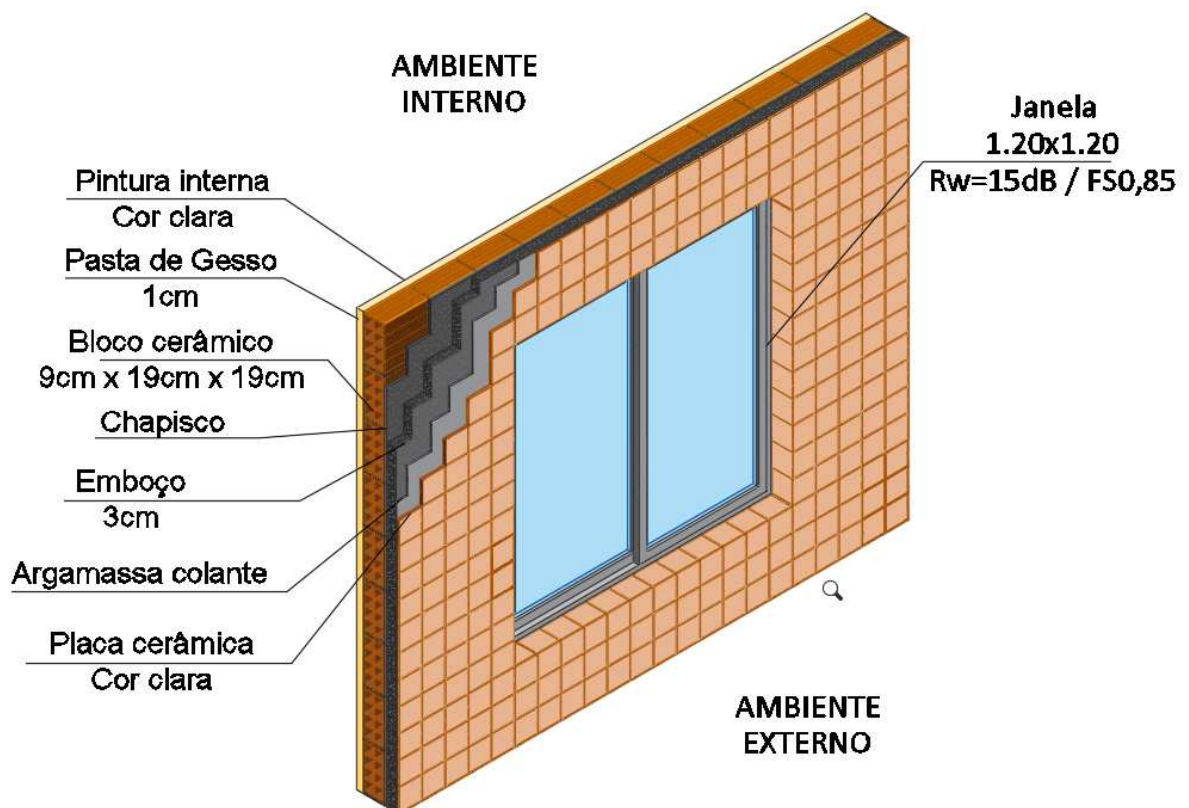
3.1.2 Sistemas de vedação vertical externo (fachada)

Para o elemento opaco do sistema de vedação vertical externo (fachada) do modelo de referência foi considerada alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal (9cmX19cmx19cm), revestida internamente com pasta de gesso (espessura igual a 1cm) e pintura de cor clara e revestida externamente com argamassa cimentícia, incluindo chapisco e emboço (espessura igual a 3cm), e placa cerâmica de cor clara.

Para a esquadria da fachada, foi considerada para o modelo de referência a tipologia de correr com duas folhas móveis, com índice de redução sonora igual a 15dB ($R_w=15\text{dB}$) e vidro float incolor de 4mm.

A Figura 8 apresenta detalhe esquemático do sistema de vedação vertical externo considerado no modelo de referência.

Figura 8 - Detalhe esquemático do sistema de vedação vertical externo de referência utilizado no estudo (sem escala)



Fonte: (Autor, 2020)

Para análise da influência das camadas do sistema de vedação vertical externa no desempenho acústico, térmico e lumínico natural, foram feitas mudanças individuais em cada camada e realizadas simulações computacionais, com o objetivo de análise comparativa em relação ao modelo de referência.

Além do sistema de vedação vertical externo definido para o modelo de referência, foram adotadas as seguintes variações para os elementos/componentes com objetivo de análise comparativa:

- 2 cores para o acabamento do revestimento interno;
- 4 variações no revestimento interno, com modificações no tipo de material e espessura;
- 3 tipos de componentes da vedação;
- 2 espessuras para o revestimento externo;
- 5 variações na camada de acabamento externa, com modificações no tipo de material e cores;
- 2 tipos esquadrias externas (janelas), com variações no Índice de Redução Sonora (Rw) da esquadria e Fator Solar⁵ (FS) dos vidros.

Considerando o modelo de referência e as variações adotadas, foram consideradas nas modelagens com 18 tipologias de sistemas de vedações verticais externas.

A Tabela 19 apresenta a relação de sistemas de vedações verticais externos avaliados, considerando as variações apontadas anteriormente.

⁵ O Fator Solar de elementos transparentes ou translúcidos, caso dos vidros das esquadrias externas, está relacionada com a transmitância e refletância à radiação solar e à luz visível.

Tabela 19 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais

SVVE	Revestimento interno		Vedação	Revestimento externo		Esquadria
1	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
2	PIN α 0,5	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
3	PIN α 0,7	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
4	PIN α 0,3	GES3	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
5	PIN α 0,3	ARG2	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
6	PIN α 0,3	ARG4	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
7	PIN α 0,3	ARG6	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
8	PIN α 0,3	GES1	BCE14	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
9	PIN α 0,3	GES1	BCO14	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
10	PIN α 0,3	GES1	PCO10	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
11	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG5	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
12	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG7	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
13	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,5	ESQRW15FS0,85
14	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,7	ESQRW15FS0,85
15	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,3	ESQRW15FS0,85
16	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,5	ESQRW15FS0,85
17	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,7	ESQRW15FS0,85
18	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW19FS0,66
19	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW23FS0,52

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:

PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm

ARG2 | ARG3 | ARG4 | ARG5 | ARG6 | ARG7: Argamassa com espessuras de 2cm a 7cm

BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm

BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

CER α 0,3 | CER α 0,5 | CER α 0,7: Placas cerâmicas com cor clara, média e escura

TEX α 0,3 | TEX α 0,5 | TEX α 0,7: Textura acrílica com cor clara, média e escura

ESQRW15FS0,85: Esquadria $R_w=15$ dB e vidro Float incolor 4mm (Fator Solar = 0,85)

ESQRW19FS0,66: Esquadria $R_w=19$ dB e vidro Float verde 4mm (Fator Solar = 0,66)

ESQRW23FS0,52: Esquadria $R_w=23$ dB e vidro laminado cinza 6mm (Fator Solar = 0,52)

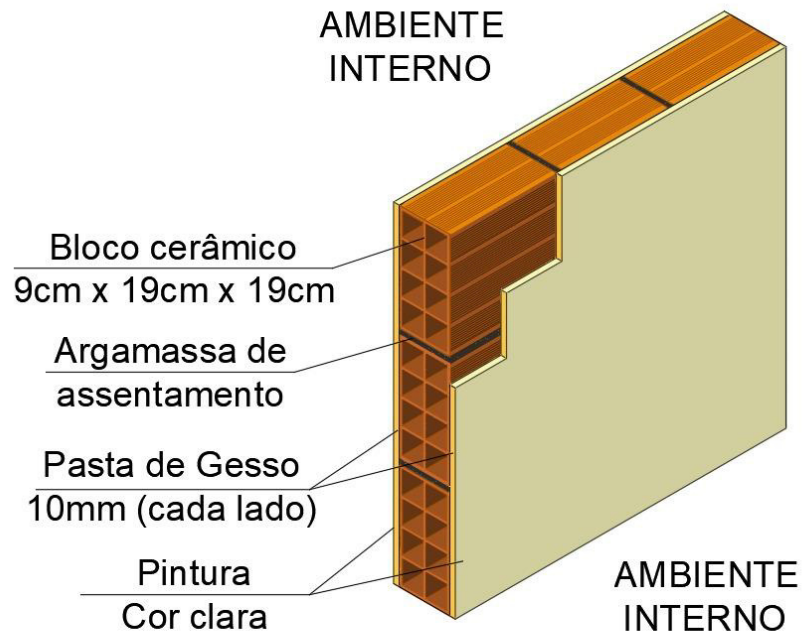
Fonte: (Autor, 2020)

3.1.3 Sistemas de vedação vertical interno

Para o sistema de vedação vertical interno do modelo de referência foi considerada alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmX19cmx19cm revestida com pasta de gesso (espessura $e=1\text{cm}$) e pintura de cor clara em ambos os lados.

A Figura 9 apresenta detalhe esquemático do sistema de vedação vertical interno considerado no modelo de referência.

Figura 9 - Detalhe esquemático do sistema de vedação vertical interno de referência utilizado no estudo (Sem escala)



Fonte: (Autor, 2020)

Para análise da influência das camadas do sistema de vedação vertical interna no desempenho acústico, térmico e lumínico natural, foram feitas mudanças individuais, em cada camada, e realizadas simulações computacionais, com o objetivo de análise comparativa em relação ao modelo de referência.

Além do sistema de vedação vertical interno definido para o modelo de referência, foram adotadas as seguintes variações para os elementos/componentes com objetivo de análise comparativa:

- 2 cores para o acabamento do revestimento interno;
- 4 variações no revestimento interno, com modificações no tipo de material e espessura;
- 3 tipos de componentes da vedação;

Considerando o modelo de referência e as variações adotadas, foram consideradas nas modelagens com 9 tipologias de sistemas de vedações verticais internas.

A Tabela 20 apresenta a relação de sistemas de vedações verticais internos, considerando as variações apontadas anteriormente.

Tabela 20 - Sistemas de vedações verticais internas considerados nas simulações computacionais

SVVI	Revestimento 1		Vedação	Revestimento 2	
1	PIN α 0,3	GES1	BCE9	GES1	PIN α 0,3
2	PIN α 0,5	GES1	BCE9	GES1	PIN α 0,5
3	PIN α 0,7	GES1	BCE9	GES1	PIN α 0,7
4	PIN α 0,3	GES3	BCE9	GES3	PIN α 0,3
5	PIN α 0,3	ARG2	BCE9	ARG2	PIN α 0,3
6	PIN α 0,3	ARG4	BCE9	ARG4	PIN α 0,3
7	PIN α 0,3	ARG6	BCE9	ARG6	PIN α 0,3
8	PIN α 0,3	GES1	BCE14	GES1	PIN α 0,3
9	PIN α 0,3	GES1	BCO14	GES1	PIN α 0,3
10	PIN α 0,3	GES1	PCO10	GES1	PIN α 0,3

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência
NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:
PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)
GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm
ARG2 | ARG4 | ARG6: Argamassa cimentícia com espessuras de 2cm, 4cm e 6cm
BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm
BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm
BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm
PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

Fonte: (Autor, 2020)

Os blocos de cerâmica e de concreto com dimensões 14cm x 19cm x 39cm considerados nas simulações possuem furo na vertical e dimensões conforme NBR 15270-1 (ABNT, 2017) e NBR 6136 (ABNT, 2016), respectivamente.

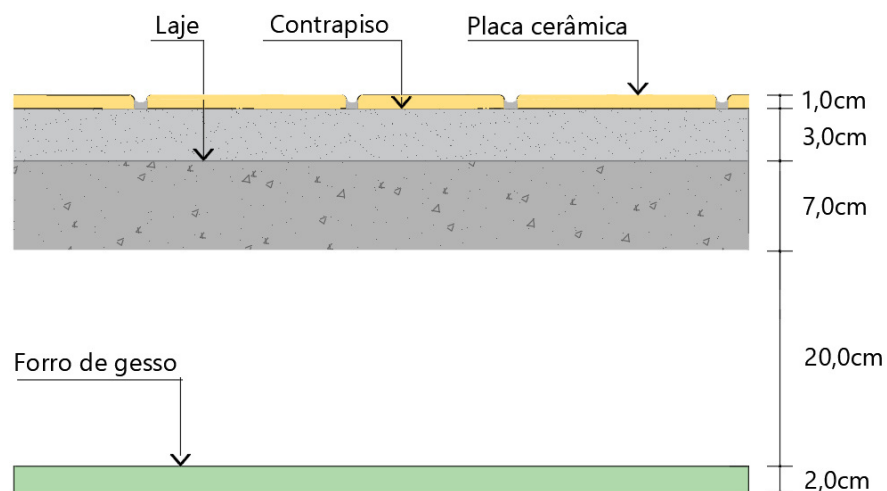
Essa informação é relevante pois as propriedades de isolamento acústico de blocos perfurados são prejudicadas em comparação com os blocos sólidos e que geometrias diferentes podem proporcionar isolamentos acústicos também diferentes (FRINGUELLINO; SMITH, 1999).

3.1.4 Sistemas de piso

Para o sistema de piso que divide ambientes sobrepostos do modelo de referência foi considerada laje maciça com 7cm de espessura, forro de placas de gesso com espessura 2cm e distância para a laje igual a 20cm, sem o uso de lã mineral ou manta acústica, contrapiso em argamassa cimentícia com 3cm de espessura e revestimento em placas cerâmicas de cor clara.

A Figura 10 apresenta detalhe esquemático do sistema de piso considerado no modelo de referência.

Figura 10 - Detalhe esquemático do sistema de piso de referência utilizado no estudo



Fonte: (Autor, 2020)

Além do sistema de piso definido para o modelo de referência, foram adotadas as seguintes variações para os elementos/componentes com objetivo de análise comparativa:

- Exclusão do forro de gesso;
- Inclusão de lã mineral com 5cm de espessura sobre o forro de gesso;
- 3 espessuras de laje diferentes;
- Inclusão de 2 tipos de manta resiliente para contrapiso acústico;
- 2 espessuras de contrapiso diferentes;
- 2 cores para o revestimento do piso.

Considerando o modelo de referência e as variações adotadas, foram consideradas nas modelagens com 12 tipologias de sistemas de piso.

A Tabela 21 apresenta a relação de sistemas de piso, considerando as variações apontadas anteriormente.

Devido à complexidade geométrica e às características não homogêneas de alguns tipos de laje para grandes vãos, estimar a resposta vibracional nesse tipo de piso requer métodos para considerar suas diferentes formas construídas (OLIVEIRA; PATRÍCIO, 2017). Diante da complexidade apontada para análise de lajes não homogêneas não foram consideradas no presente estudo sistema de piso com lajes nervuradas ou treliçadas.

Tabela 21 - Sistemas de piso considerados nas simulações computacionais

SP	Forro		Estrutura	Contrapiso		Revestimento
1	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
2	S/FOR	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
3	FOR20	LÃ5	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
4	FOR20	S/LÃ	LAJ10	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
5	FOR20	S/LÃ	LAJ13	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
6	FOR20	S/LÃ	LAJ16	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
7	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 14	ARG3	CER α 0,3
8	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 29	ARG3	CER α 0,3
9	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG5	CER α 0,3
10	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG7	CER α 0,3
11	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,5
12	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,7

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:

FOR20: Forro de placas de gesso com distância de 20cm para a laje

S/FOR: Sem forro

S/LÃ: Sem lâ mineral

LÃ5: Lã mineral espessura 5cm sobre o forro

LAJ7 | LAJ10 | LAJ13 | LAJ16: Laje maciça de concreto com espessuras 7cm, 10cm, 13cm e 16cm

SMAC: Se manta acústica

MAC Δ 14: Manta acústica com ΔLw^6 igual a 14dB

MAC Δ 29: Manta acústica com ΔLw igual a 29dB

ARG3 | ARG5 | ARG7: Argamassa cimentícia com espessuras de 3cm, 5cm e 7cm

CER α 0,3 | CER α 0,5 | CER α 0,7: Placas cerâmicas com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

Fonte: (Autor, 2020)

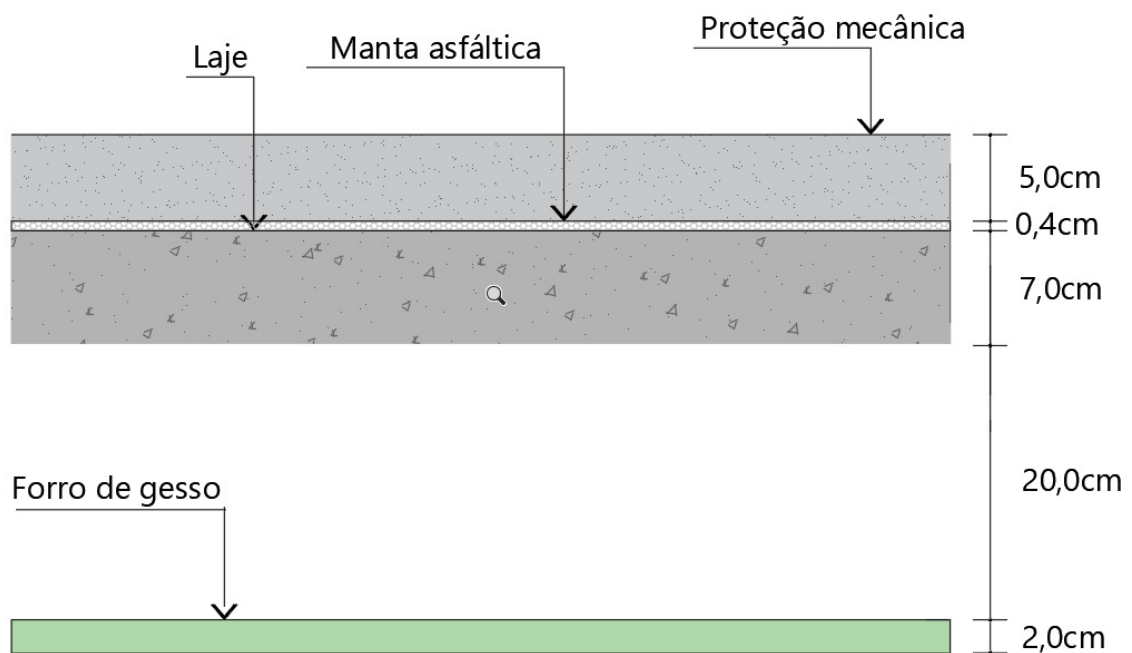
⁶ ΔLw : Redução Ponderada do Nível de Pressão Sonora de impactos (PROACUSTICA, 2015). O ΔLw pode ser obtido através de ensaio em laboratório realizado segundo a ISO 10140-3 (ISO, 2010).

3.1.5 Sistemas de cobertura

Para o sistema de cobertura do modelo de referência foi considerada laje maciça com 7cm de espessura, forro de placas de gesso com espessura 2cm, pintura de cor clara e distância para a laje igual a 20cm, sem o uso de lã mineral ou manta térmica, impermeabilização com manta asfáltica com espessura 4mm, proteção mecânica em argamassa cimentícia com 5cm de espessura e revestimento em pintura de cor clara.

A Figura 11 apresenta detalhe esquemático do sistema de piso considerado no modelo de referência.

Figura 11 - Detalhe esquemático do sistema de cobertura de referência utilizado no estudo



Fonte: (Autor, 2020)

Além do sistema de cobertura definido para o modelo de referência, foram adotadas as seguintes variações para os elementos/componentes com objetivo de análise comparativa:

- 2 cores para o revestimento interno do forro de gesso;
- Exclusão do forro de gesso;
- Inclusão de lã mineral com 5cm de espessura sobre o forro de gesso;
- 3 espessuras de laje maciças de concreto diferentes;
- Inclusão de 2 tipos de isolantes térmicos, XPS e EPS, sobre o elemento estrutural;
- Substituição da impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica por telhado com telhas de fibrocimento;
- 2 cores para o revestimento externo do sistema de cobertura.

Considerando o modelo de referência e as variações adotadas, foram consideradas nas modelagens com 13 tipologias de sistemas de cobertura.

A Tabela 22 apresenta a relação de sistemas de cobertura, considerando as variações apontadas anteriormente.

Tabela 22 - Sistemas de cobertura considerados nas simulações computacionais

SC	Forro		Estrutura	Contrapiso		Revestimento
1	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
2	FOR20 α 0,5	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
3	FOR20 α 0,7	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
4	S/FOR	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
5	FOR20 α 0,3	LÃ5	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
6	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ10	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
7	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ13	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
8	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ16	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
9	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	XPS2	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
10	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	EPS4	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,3
11	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	TFC	PIN α 0,3
12	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,5
13	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP0,4 + ARG5	PIN α 0,7

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:

FOR20 α 0,3: Forro de placas de gesso com pintura de cor clara ($\alpha=0,3$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,5: Forro de placas de gesso com pintura de cor média ($\alpha=0,5$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,7: Forro de placas de gesso com pintura de cor escura ($\alpha=0,7$) e distância de 20cm para a laje

S/FOR: Sem forro

S/LÃ: Sem lâ mineral

LÃ5: Lã mineral espessura 5cm sobre o forro

LAJ7 | LAJ10 | LAJ13 | LAJ16: Laje maciça de concreto com espessuras 7cm, 10cm, 13cm e 16cm

S/MTE: Sem manta térmica

XPS2: Manta térmica, XPS⁷ com 2cm de espessura

IMP0,4 + ARG5: Manta asfáltica 0,4cm de espessura e proteção mecânica de argamassa 5cm

EPS⁸4: Manta térmica, EPS com 4cm de espessura

TFC: Telhado com telhas de fibrocimento e câmara de ar maior que 5cm

PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

Fonte: (Autor, 2020)

⁷ XPS: Extruded Polystyrene Foam ou Espuma de Poliestireno Extrudado (AUGUSTO, CARLOS OLIVEIRA; BRAGANÇA, LUÍS; ALMEIDA, 2016)

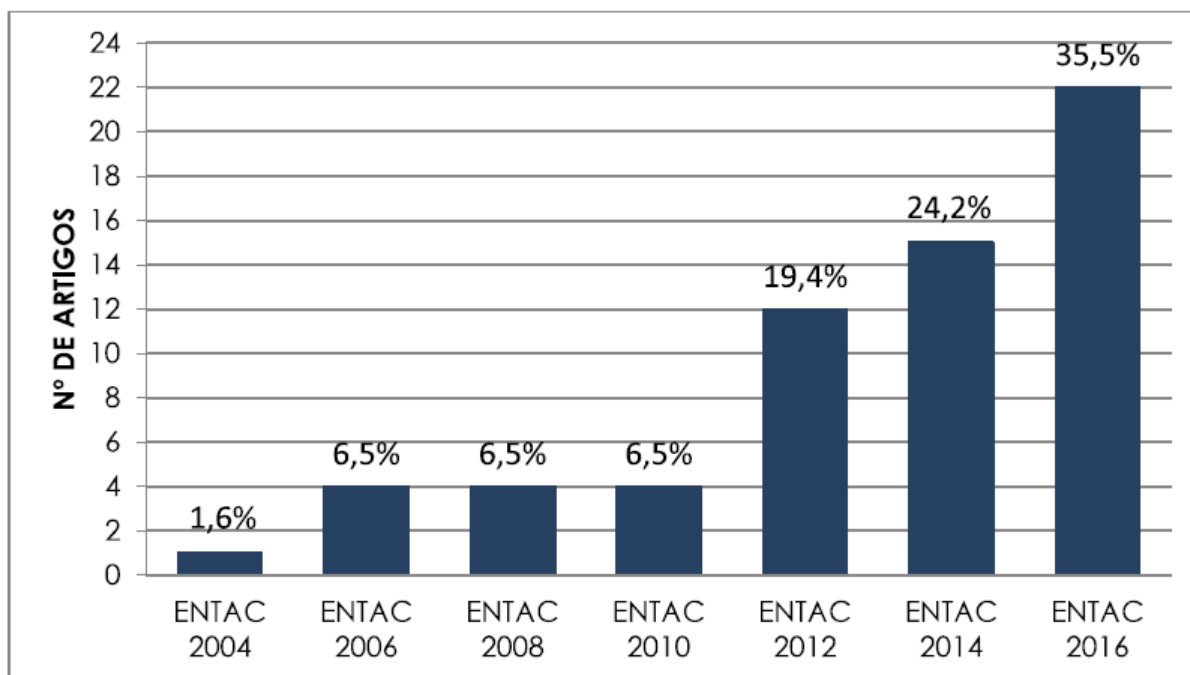
⁸ EPS: Poliestireno Expandido (AUGUSTO, CARLOS OLIVEIRA; BRAGANÇA, LUÍS; ALMEIDA, 2016)

3.1 Método de análise de desempenho térmico

Para simulação computacional e análise de desempenho térmico do modelo de referência e dos modelos com as variações dos sistemas de vedações definidas, foram utilizados os softwares *SketchUp 8* e o *EnergyPlusV8*.

Em estudo para identificação da tendência de uso do software Energyplus por pesquisadores no Brasil, (Santos et al., 2018) verificou que a partir de 2004, sua utilização começou a ser identificada, intensificando-se com o passar dos anos, indicando assim uma tendência de sua maior utilização em pesquisas futuras.

Figura 12 – Cronologia de utilização do EnergyPlus em pesquisas publicadas no ENTAC⁹ entre 2004 e 2016



Fonte: (SANTOS et al., 2018)

Pela Figura 12 pode-se supor que a recomendação do uso do EnergyPlus pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), desde sua primeira versão, publicada em 2010, impactou no uso do software em pesquisas acadêmicas, como é o caso do presente estudo.

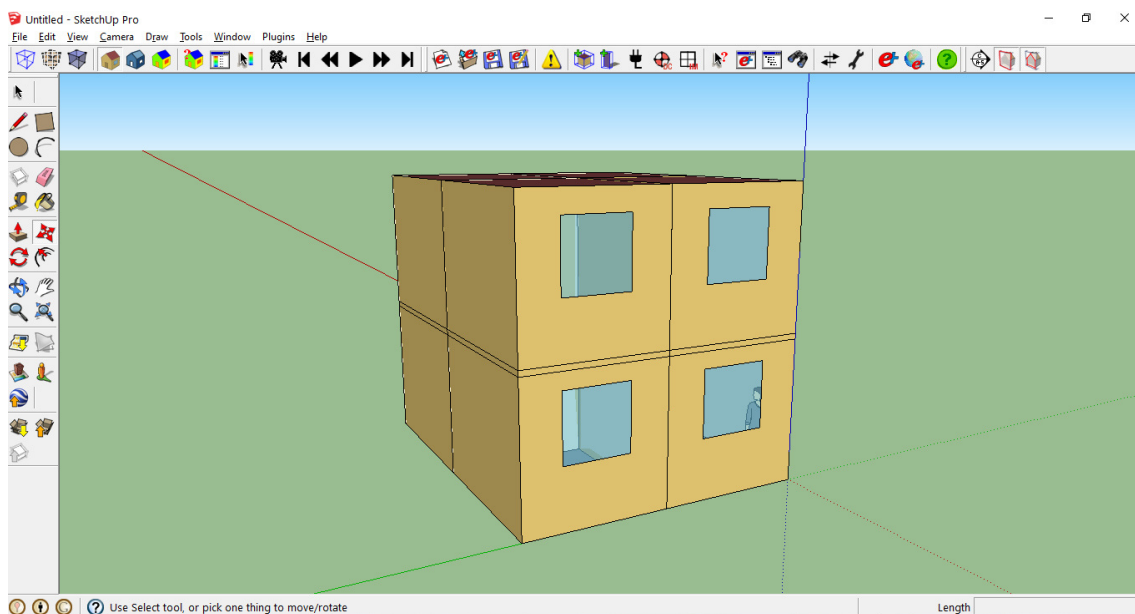
⁹ ENTAC: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (Evento bianual promovido pela ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído)

Para a criação do modelo considerando as zonas térmicas e possibilitar a comunicação e transferência de dados do *SketchUp 8* para o *EnergyPlusV8* foi utilizado o plugin *OpenStudio*.

3.1.1 SketchUp8 / EnerenergyPlusV8

A Figura 13 apresenta tela do *SketchUp8* com o modelo de referência inserido. Na extremidade superior da tela é possível visualizar as ferramentas do *OpenStudio* específicas para interface com o *EnergyPlusV8*. O arquivo gerado na modelagem no *SketchUp8* com o plugin *OpenStudio* tem o formato “.idf” e é aberto diretamente pelo *EnergyPlusV8*.

Figura 13 – Tela do SketchUp8 com o modelo de referência



Fonte: (Autor, 2020)

Foram utilizados os dados climáticos da cidade de Recife – PE. Com base em arquivo climático no formato SWERA obtido no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2019).

A Figura 14 apresenta a página de download dos arquivos climáticos do site do LabEEE da UFSC.

Figura 14 – Tela de download dos arquivos climáticos do site labeee.ufsc.br

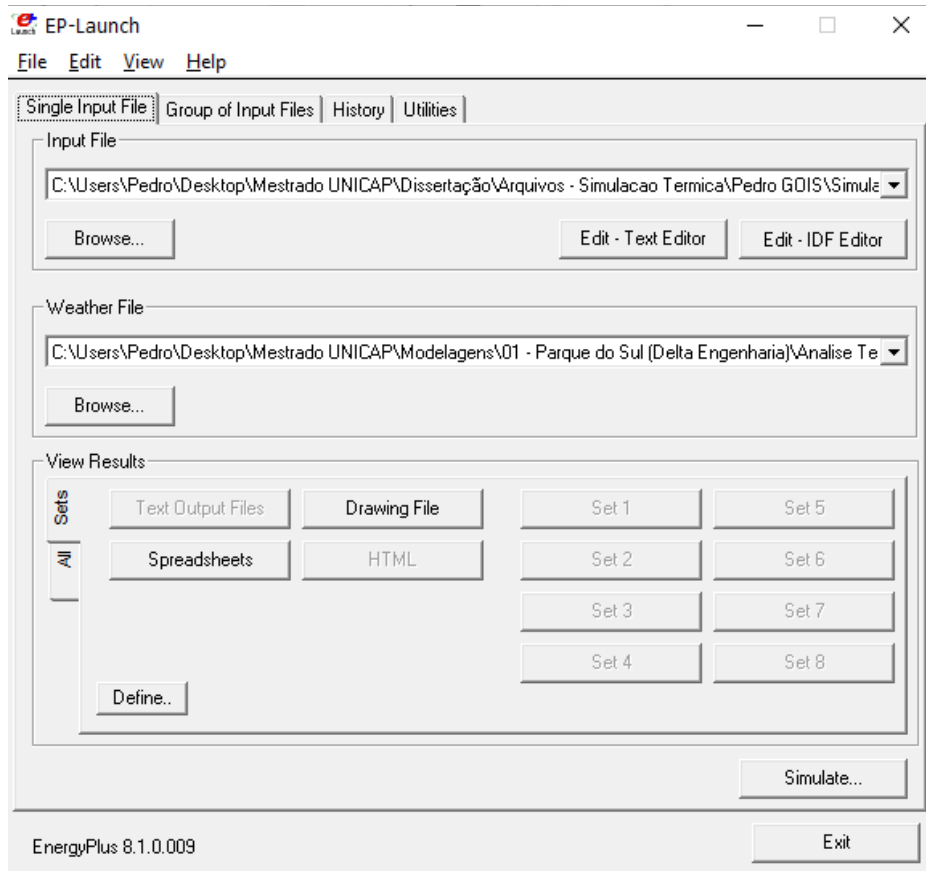


Fonte: (Autor, 2020)

Na tela inicial do *EnergyPlusV8* foram inseridos dois arquivos: o arquivo climático em formato SWERA e o arquivo do modelo gerado no *SketchUp8*, em formato “.idf”¹⁰, conforme apresentado na Figura 15. As informações dos sistemas de vedações foram editadas diretamente no *EnergyPlusV8* através do IDF Editor, na extremidade direita da tela apresentada na Figura 15.

¹⁰ IDF – Input Data File é o arquivo de entrada que contém os dados que descrevem o edifício e o sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado a ser simulado no Energyplus (DOE, 2016).

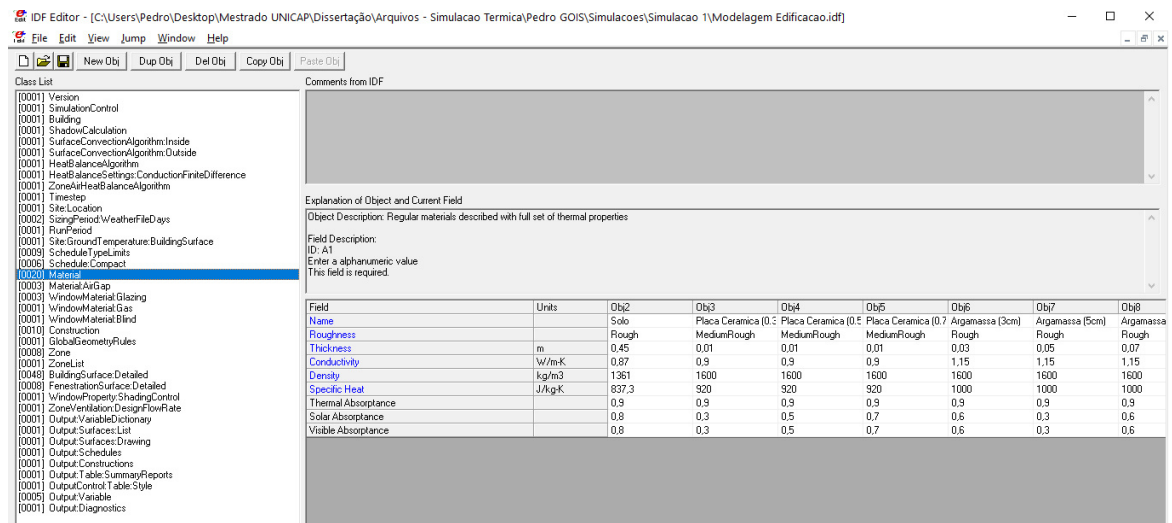
Figura 15 - Tela inicial do EnergyPlusV8



Fonte: (Autor, 2020)

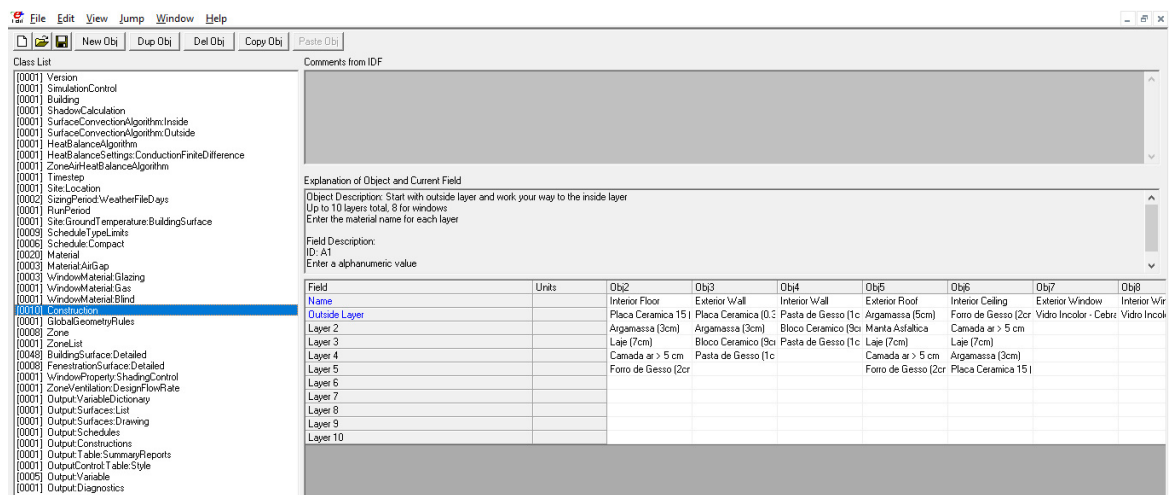
No EnergyPlus8 foram inseridas informações sobre a orientação do modelo, período da medição das temperaturas (no caso, o período de um ano), ventilação (no caso, 1renovação de ar por hora), sombreamento das aberturas, características térmicas de todos os materiais (Ver Figura 16), camadas dos sistemas de vedação (Figura 17).

Figura 16 - Tela de edição do arquivo “IDF” no EnergyPlus8 - Base de dados dos materiais



Fonte: (Autor, 2020)

Figura 17 - Tela de edição do arquivo “IDF” no EnergyPlus8 – Base de dados das camadas dos sistemas de vedação



Fonte: (Autor, 2020)

Com todas as informações do modelo inseridas, para cada variação dos sistemas de vedações, foram realizadas o cálculo de temperaturas operativas para cada hora e dia do ano pelo EnergyPlus8.

Foram utilizadas as propriedades térmicas apresentadas nas Tabela 23 e Tabela 29 para os materiais opacos e translúcidos, respectivamente, considerados nas simulações computacionais.

Tabela 23 – Propriedade térmica dos materiais opacos utilizados na modelagem e simulação computacional de desempenho térmico

Material	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg.K)
Gesso	0,5	1.200	840
Argamassa	1,15	1.600	1.000
Concreto	1,75	2.400	1.000
Bloco cerâmico	0,7	1.300	920
Placa cerâmica	0,9	1.600	920
Placa de gesso	0,35	900	840
Lã de vidro	0,45	22	700
XPS	0,035	40	1.420
EPS	0,04	35	1.420
Telha de fibrocimento	0,95	1.900	840

NOTA 1: A absorvância solar utilizada variou de acordo com a cor do revestimento utilizado, sendo considerado $\alpha=0,3$ para cores claras; 0,5 para cores médias; e 0,7 para cores escuras, conforme preconizado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2005b)

Os dados de temperatura foram exportados do *EnergyPlus8* para arquivos de planilhas, a partir das quais foram analisados especificamente as temperaturas internas máximas no ambiente de referência no dia típico de verão para a cidade de Recife, 26 de janeiro.

Em resumo, para cada variação dos sistemas de vedação, foi obtido um valor de temperatura máxima para o dia 26 de janeiro. Essas temperaturas foram analisadas comparativamente com a obtida no modelo de referência, cujos resultados e discussões são apresentados no capítulo 4.1.

3.2 Método de análise de desempenho acústico

Para análise do desempenho acústico através de simulação computacional foram utilizados dois softwares específicos: *Insul*, utilizado para previsão do índice de redução sonora (R_w) dos elementos opacos, simulando a caracterização pelo método de precisão, ensaio de laboratório, conforme preconizado pelo método de precisão da NBR 15575-3 e NBR 15575-4 (ABNT, 2013b, 2013c); e o *Sonarchitect ISO Professional*, utilizado para verificação do isolamento acústico das vedações em campo, seguindo parâmetros das normas internacionais ISO 12354-1, ISO 12354-2, ISO 12354-3 (ISO, 2017a, 2017b, 2017c), simulando ensaios realizados em campo, pelo método de engenharia, preconizado nas NBR 15575-3, NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (ABNT, 2013b, 2013c, 2013d).

3.2.1 Insul

O *Insul* é um software criado pela *Marshall Day Acoustic* e tem como finalidade o cálculo de predição do isolamento sonoro de uma vedação. Esse cálculo é baseado em equações teóricas (teoria das massas, frequência crítica e outros) com o fim de auxiliar projetistas na escolha dos melhores materiais para projetos de acústica (INSUL, 2019).

O *Insul* é um dos principais softwares utilizados em acústica de edificações, mais especificamente para predição de índices de isolamento sonora (R_w) e nível de pressão sonora de impacto padrão ($L'_{nT,w}$) para sistemas de vedações verticais, sistemas de cobertura ou sistemas de piso de forma simples e prática, apresentando em geral erros de até 3dB em relação às medições de laboratório (SERRANO et al., 2017).

O *Insul* disponibiliza diversos materiais utilizados na Europa com suas propriedades pré-definidas. Contudo, existem poucos dados na área de acústica dos materiais convencionalmente utilizados no Brasil, complicando o processo de preenchimento de todas as características necessárias para o funcionamento do software. Devido a essa limitação, foi necessária a criação de novos materiais e elementos para o estudo.

No presente estudo, para criação dos elementos no *Insul*, foi utilizada como referência sistemas ensaiados em laboratório com resultados disponibilizados pelo Guia orientativo para atendimento da norma de desempenho (CBIC, 2013). As vedações e respectivos resultados de índice de redução sonora (R_w) utilizados como referência inicial estão apresentados na Tabela 24 e Tabela 25, a seguir.

Tabela 24 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de parede

Tipo de parede	Largura do bloco/tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R_w (dB)
Blocos vazados de concreto	14cm	Argamassa 1,5cm em cada face	230kg/m ²	45
Blocos vazados de cerâmica	9cm	Argamassa 1,5cm em cada face	120kg/m ²	38
	14cm	Argamassa 1,5cm em cada face	180kg/m ²	42
Paredes maciças de concreto armado	10cm	Sem revestimento	240kg/m ²	45

Fonte: Adaptado do Guia orientativo para atendimento à NBR 15575 (CBIC, 2013)

Tabela 25 - Valores indicativos do índice de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$

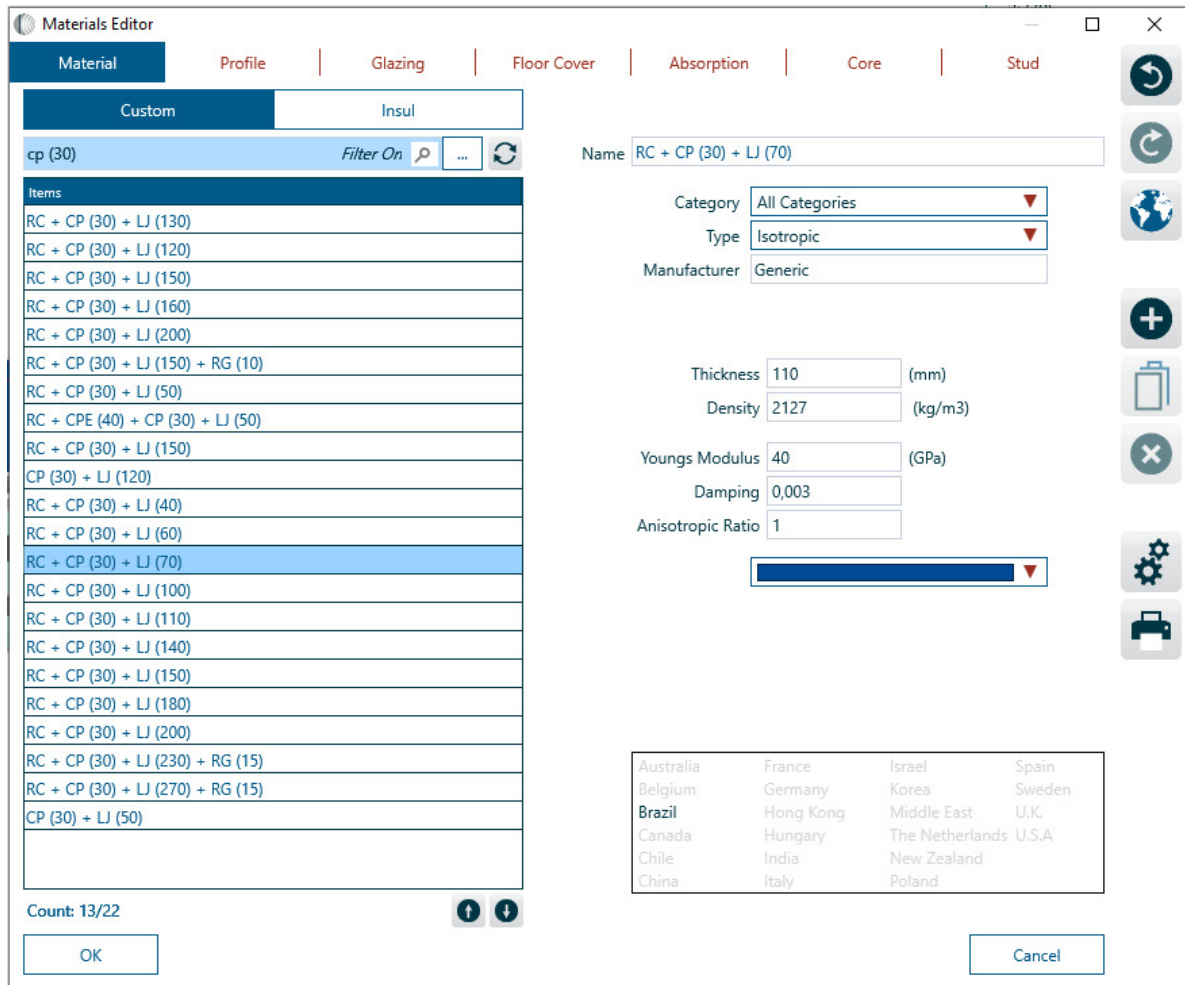
Tipo de produto utilizado no piso flutuante e resultados de lajes sem qualquer tratamento acústico	Índice de pressão sonora de Impacto (dB)
Laje zero espessura 10cm, sem manta resiliente e sem contrapiso	82
Laje zero espessura 15cm, sem manta resiliente e sem contrapiso	71
Manta espessura 10mm com borracha sintética e 88% material reciclado, sem contrapiso	58
Manta de borracha reciclada espessura 5mm (800 kg/m ³) – sem contrapiso	58
Manta de borracha reciclada espessura 3mm (600 kg/m ³), mais contrapiso 5cm	64
Manta de lã sintética + contrapiso 5cm	57
Manta de polipropileno 10mm + contrapiso 5cm	52
Manta polipropileno espessura 5mm + contrapiso 5cm	60

Fonte: Guia orientativo para atendimento à NBR 15575 (CBIC, 2013)

Os principais dados de entrada solicitados pelo *Insul* para edição dos materiais são: espessura; densidade; módulo de elasticidade Young; e amortecimento¹¹ (*damping*), conforme pode ser visualizado na tela de edição de materiais do software, apresentado na Figura 18.

¹¹ Crandall (1970) apud Oliveira (2004) define o amortecimento como a retirada de energia de um sistema vibrante, que pode ser transmitida para fora do sistema através de mecanismos de radiação ou pode ser dissipada internamente no sistema.

Figura 18 – Tela de edição de materiais do Insul (Fonte: Autor)



Fonte: (Autor, 2020)

As propriedades dos materiais consideradas como dados de entrada no INSUL são apresentadas na Tabela 26.

Os índices de redução sonora obtidos no INSUL e utilizados na simulação computacional estão apresentados nas Tabela 27 e Tabela 28 para elementos das vedações verticais e dos sistemas de piso, respectivamente.

Tabela 26 – Propriedades dos materiais utilizadas para modelagem no INSUL

Material	Densidade (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Damping
Gesso	1.100	30	0,003
Argamassa	1.600	30	0,003
Concreto	2.400	40	0,006
Bloco cerâmico	616	10	0,011
Bloco de concreto	896	40	0,001
Placa cerâmica	1.600	4,68	4,68
Placa de gesso	900	30	30
Lã de vidro	22	-	-

NOTA 1: As esquadrias e mantas acústicas não foram modeladas no INSUL, sendo utilizados os R_w e ΔL_w diretamente no SONarchitect.

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) / Engineering noise control - Theory and practice (BIES; HANSEN, 2009)

Tabela 27 – Índices de redução sonora (R_w) dos elementos dos sistemas de vedações verticais obtidos no INSUL

SVVI	Revestimento 1	Vedação	Revestimento 2	R_w
1	GES1	BCE9	GES1	36
4	GES3	BCE9	GES3	39
5	ARG2	BCE9	ARG2	39
6	ARG4	BCE9	ARG4	43
7	ARG6	BCE9	ARG6	47
8	GES1	BCE14	GES1	40
9	GES1	BCO14	GES1	44
10	GES1	PCO10	GES1	46

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:

GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm

ARG2 | ARG4 | ARG6: Argamassa cimentícia com espessuras de 2cm, 4cm e 6cm

BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm

BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

Fonte: (Autor, 2020)

Tabela 28 - Índices de redução sonora (Rw) e Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderada dos sistemas de piso obtidos no *INSUL*

SP	Forro		Estrutura	Contrapiso		Rw	L'nT,w
1	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	59	70
2	S/FOR	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	50	81
3	FOR20	LÃ5	LAJ7	S/MAC	ARG3	61	67
4	FOR20	S/LÃ	LAJ10	S/MAC	ARG3	61	68
5	FOR20	S/LÃ	LAJ13	S/MAC	ARG3	62	67
6	FOR20	S/LÃ	LAJ16	S/MAC	ARG3	63	64
7	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 14	ARG3	59	58
8	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 29	ARG3	59	43
9	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG5	60	69
10	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG7	61	69

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:
FOR20: Forro de placas de gesso com distância de 20cm para a laje
S/FOR: Sem forro
S/LÃ: Sem lã mineral
LÃ5: Lã mineral espessura 5cm sobre o forro
LAJ7 | LAJ10 | LAJ13 | LAJ16: Laje maciça de concreto com espessuras 7cm, 10cm, 13cm e 16cm
SMAC: Se manta acústica
MAC Δ 14: Manta acústica com ΔLw^{12} igual a 14dB
MAC Δ 29: Manta acústica com ΔLw igual a 29dB
ARG3 | ARG5 | ARG7: Argamassa cimentícia com espessuras de 3cm, 5cm e 7cm

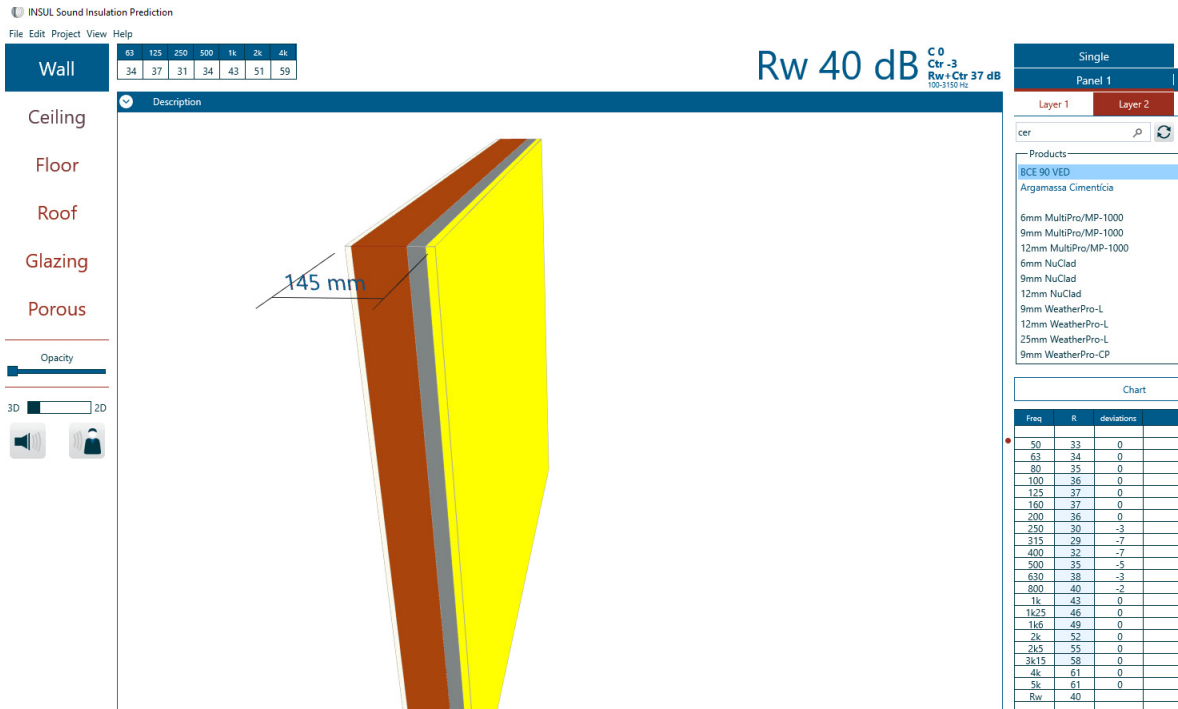
Fonte: (Autor, 2020)

Com as características acústicas dos materiais admitidos a partir da metodologia exposta foram modelados cada elemento previsto para o estudo, apresentados nas Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

A Figura 19 e Figura 20 apresentam exemplos de telas do software *Insul* utilizadas no estudo com modelagens de sistemas de vedação vertical externo e sistema de piso, respectivamente.

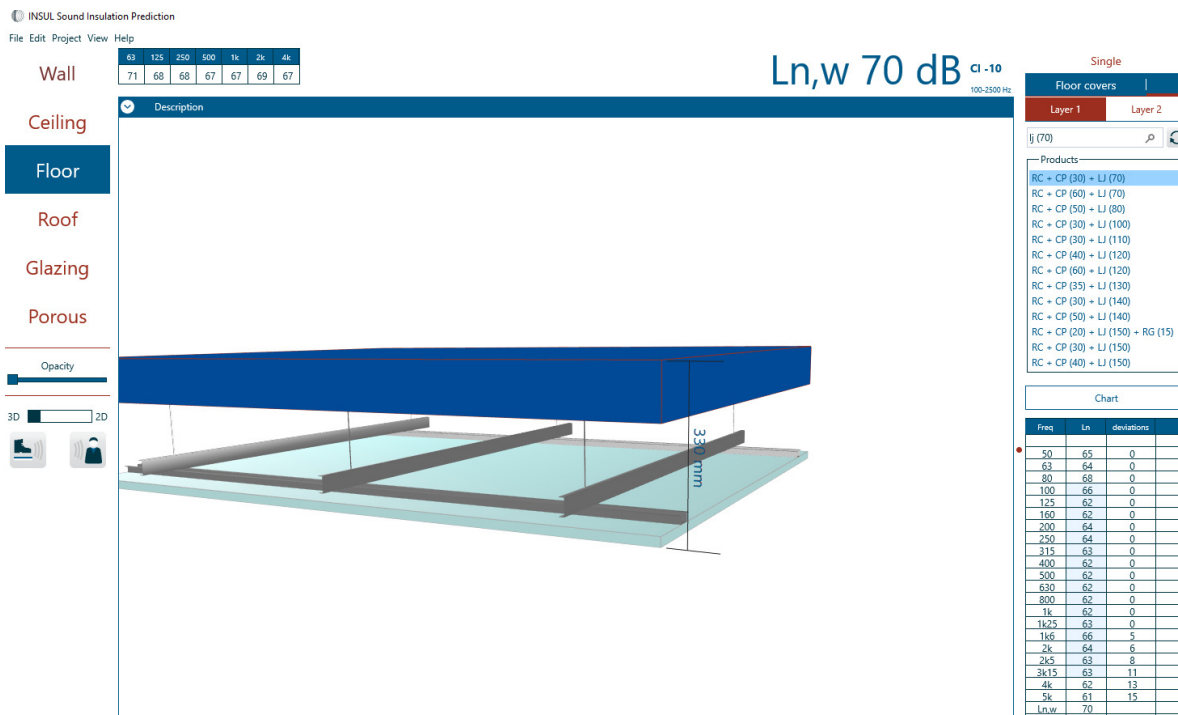
¹² ΔLw : Redução Ponderada do Nível de Pressão Sonora de impactos (PROACUSTICA, 2015). O ΔLw pode ser obtido através de ensaio em laboratório realizado segundo a ISO 10140-3 (ISO, 2010).

Figura 19 - Tela do *Insul* com modelagem do sistema de vedação vertical



Fonte: (Autor, 2020)

Figura 20 - Tela do *Insul* com modelagem do sistema de piso (Fonte: Autor)



Fonte: (Autor, 2020)

3.2.2 Sonarchitect ISO Professional

O *SONarchitect ISO* foi desenvolvido pela *Sound Of Numbers (SON)* e é uma ferramenta para o cálculo do isolamento sonoro de acordo com a norma internacional ISO 12354 partes 1, 2 e 3 (ISO, 2017a, 2017b, 2017c).

O software possibilita a análise do projeto de um edifício inteiro, estimando o isolamento ao som aéreo externo, isolamento acústico interno (impacto e aéreos) e tempo de reverberação¹³.

É um software bastante utilizado por escritórios de projeto de acústica e em trabalhos acadêmicas, sendo empregado, por exemplo, nas pesquisas de (DA SILVA, 2014), (REZENDE, 2019) e (TAKAHASHI, 2016).

Em estudo comparativo, (Remígio et al., 2019) encontrou uma boa relação entre a simulação computacional realizada com o *SONarchitect* e ensaios de campo. Das 14 situações estudadas, 92,86% apresentaram resultados dentro da margem de 2dB. Considerando assim, a simulação computacional como ferramenta confiável para análise de projetos.

Ou seja, o *SONarchitect ISO* é uma ferramenta para cálculo transmissão sonora, dos ruídos aéreos e de impacto, dos sistemas de vedações em campo, considerando as ligações entre elementos, transmissões marginais, geometria de edificação e demais parâmetros previstos na ISO 12354, representando um método de predição do isolamento acústico medido em campo, pelo método de engenharia, conforme preconizado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Os principais dados de entrada utilizados para a simulação computacional no *SONarchitect ISO* são a geometria da edificação, no caso, considerado o modelo de referência apresentado na Figura 7, e os valores de índices de redução sonora dos sistemas obtidos através de modelagem computacional pelo software *Insul*, conforme descrito no item 3.2.1 deste documento.

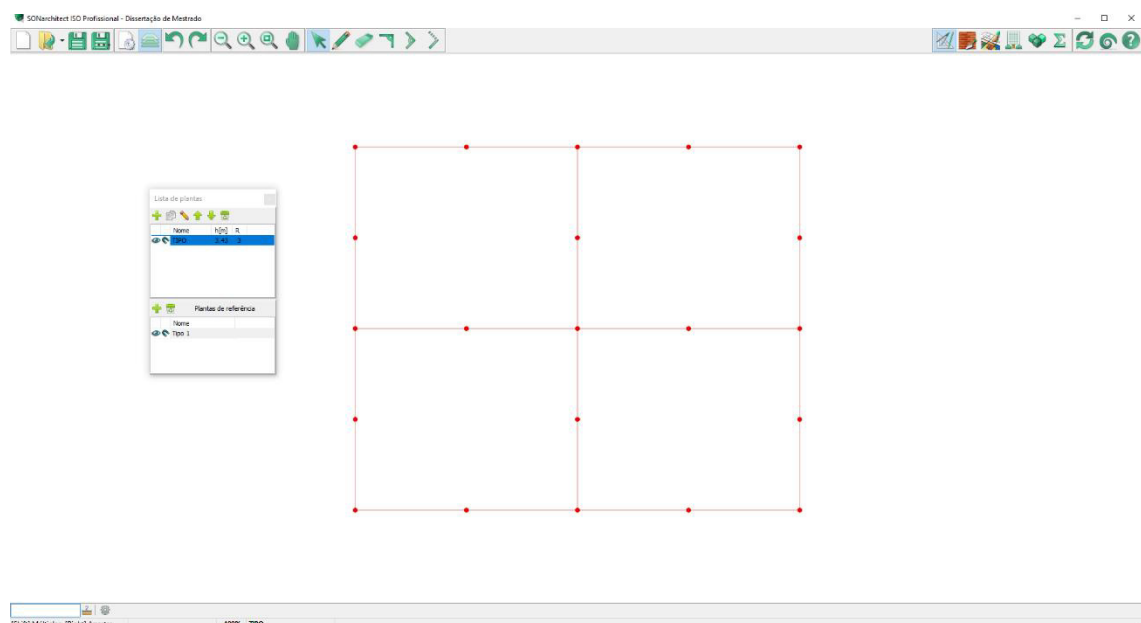
¹³ O tempo de reverberação, denominado por T60, T2 ou simplesmente TR é o intervalo de tempo em que o som leva para decair o nível de pressão sonora em 60 dB após cessada a emissão através da fonte sonora, porém o som não cessa logo após ser produzido, pois continua sendo percebido durante alguns instantes devido ao decaimento gradativo que é função do material absorvente no ambiente e das múltiplas reflexões (ALMEIDA; SILVA; FERREIRA, 2007).

Para composição do índice de isolamento acústico equivalente ($R_{w,eq}$) do sistema de vedação vertical externo (fachada) foi inserido no SONarchitect o R_w do elemento opaco, obtido pelo Insul, e o R_w da esquadria, definido no modelo de referência.

Apesar do *SONarchitect ISO* permitir a importação de arquivos DXF¹⁴, o que facilita a análise de projetos de edificações, não foi utilizada tal ferramenta para o presente estudo, sendo o modelo de referência inserido no *SONarchitect ISO* utilizando as próprias ferramentas de desenho do software.

A Figura 21 apresenta a planta baixa do modelo de referência inserida no *SONarchitect ISO*. Cabe salientar que as linhas das vedações verticais e horizontais detalhadas no software são relativas ao seu eixo, sendo assim, para cada variação da espessura das vedações foi criado um modelo, de forma a preservar as dimensões internas estabelecidas no modelo de referência.

Figura 21 - Planta baixa do modelo de referência no SONarchitect ISO



Fonte: (Autor, 2020)

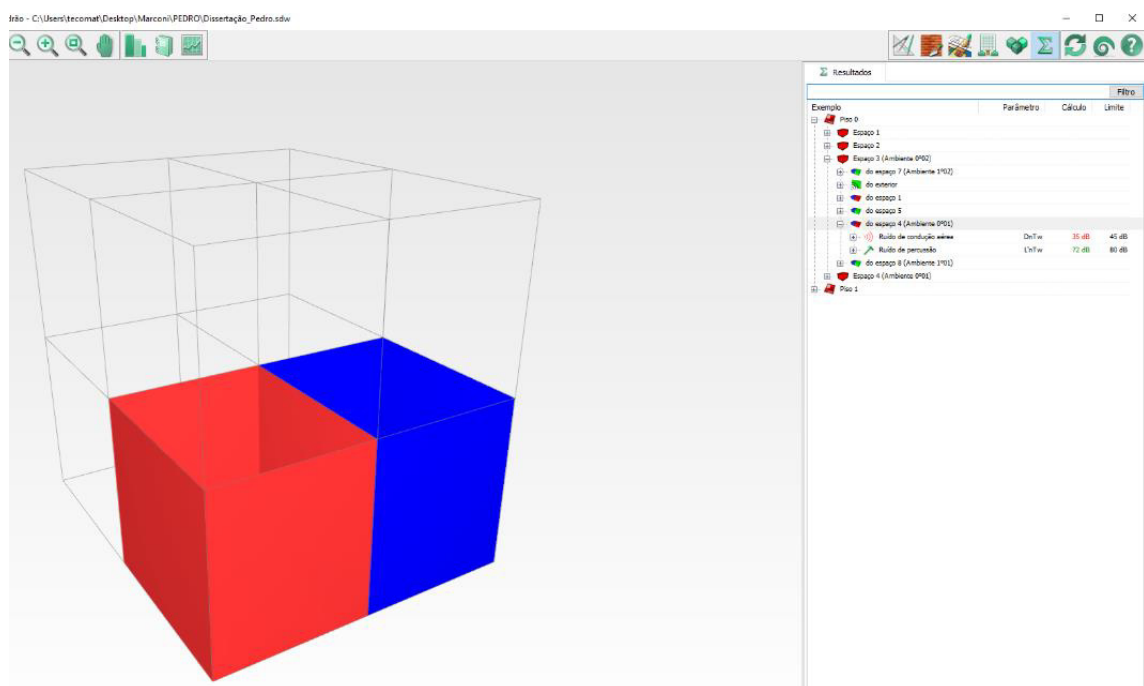
¹⁴ O DXF *Drawing Exchange Format*, é um arquivo de intercâmbio para modelos de AutoCAD®. O DXF também pode ser aberto por programas como Adobe Illustrator, Corel Draw e SONarchitect ISO, por exemplo.

Para cada variação dos sistemas de vedação foram registrados os seguintes parâmetros de isolamento acústico:

- **$D_{nT,w}$ (SVVI):** Diferença padronizada de nível ponderada da vedação vertical interna;
- **$D_{2m, nT,w}$ (SVVE):** Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada da vedação vertical externa (fachada);
- **$D_{nT,w}$ (SP):** Diferença padronizada de nível ponderada da vedação horizontal (Sistema de Piso);
- **$L'_{nT,w}$ (SP):** Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado do sistema de piso.

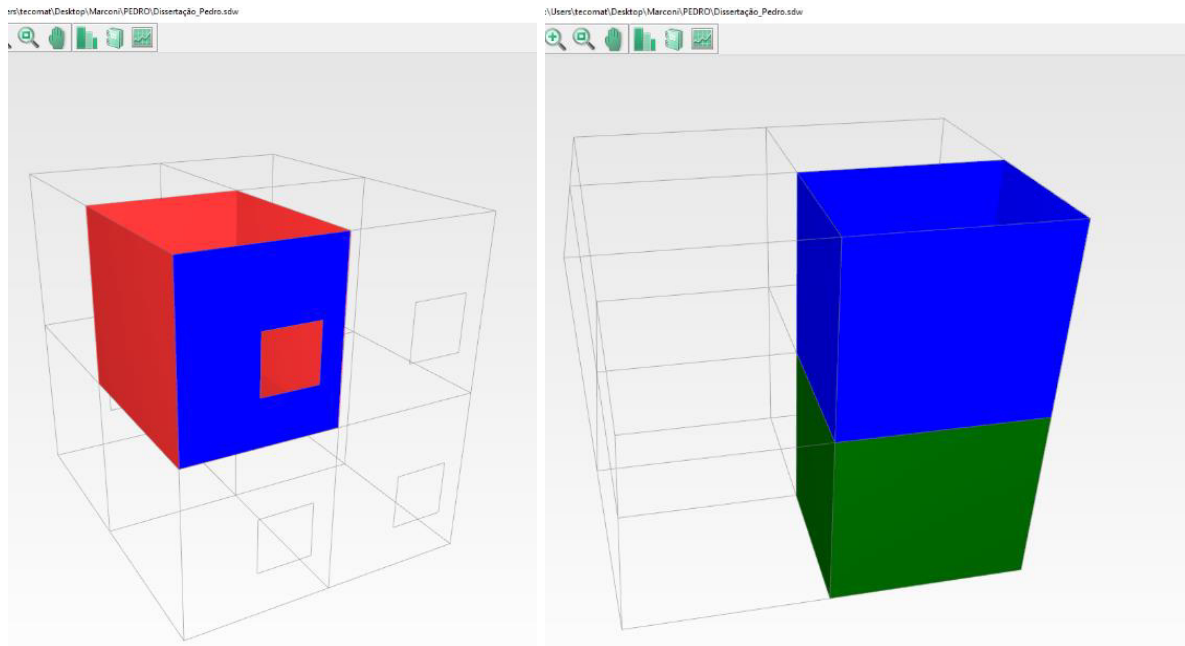
As Figura 22 e Figura 23 apresentam telas do *SONarquitect ISO* capturadas durante as análises da diferença padronizada de nível ponderada da vedação vertical interna ($D_{nT,w}$ (SVVI)) e Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada da vedação vertical externa ($D_{2m, nT,w}$), respectivamente.

Figura 22 - Tela do SONarquitect ISO durante análise da diferença padronizada de nível ponderada da vedação vertical interna do modelo de referência



Fonte: (Autor, 2020)

Figura 23 - Tela do SONarchitect ISO durante análises de isolamento sonora



Fonte: (Autor, 2020)

Com todas as situações definidas modeladas e os valores de isolamento acústico registrados para cada modelo, a metodologia dessa pesquisa consistiu na análise comparativa dos resultados em relação ao modelo de referência, cujos resultados e discussões são apresentados no capítulo 4.2.

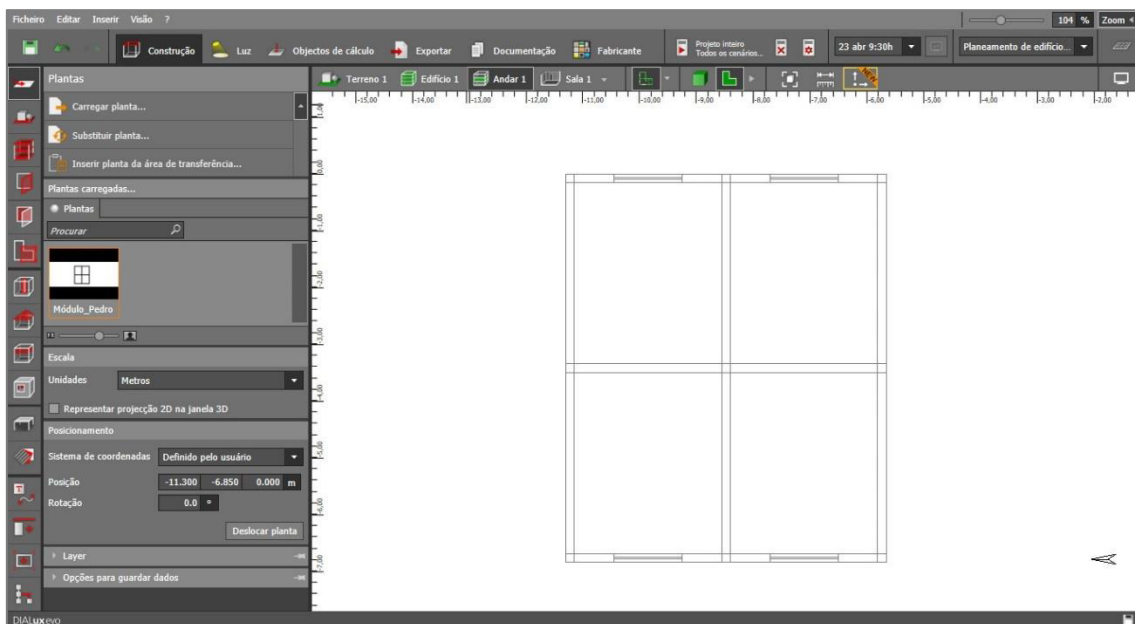
3.3 Método de análise de desempenho lumínico natural

3.3.1 DIALux Evo 8.0

Para análise do desempenho lumínico natural através de simulação computacional foi utilizado o software *DIALux Evo 8.0*. A seguir será apresentado detalhamento do processo de inserção dos parâmetros de entrada para se obter os resultados dos cálculos de iluminância de cada ambiente simulado.

O *DIALux Evo 8.0* é um software gratuito e permite a importação da planta baixa em arquivo DXF¹⁵, facilitando o processo de modelagem. O recurso foi utilizado para inserção do modelo de referência no software como pode ser visualizado na Figura 24.

Figura 24 – Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a planta baixa do modelo de referência definido para o estudo



Fonte: (Autor, 2020)

¹⁵ O DXF *Drawing Exchange Format*, é um arquivo de intercâmbio para modelos de AutoCAD®. O DXF também pode ser aberto por programas como Adobe Illustrator, Corel Draw e SONarchitect ISO, por exemplo.

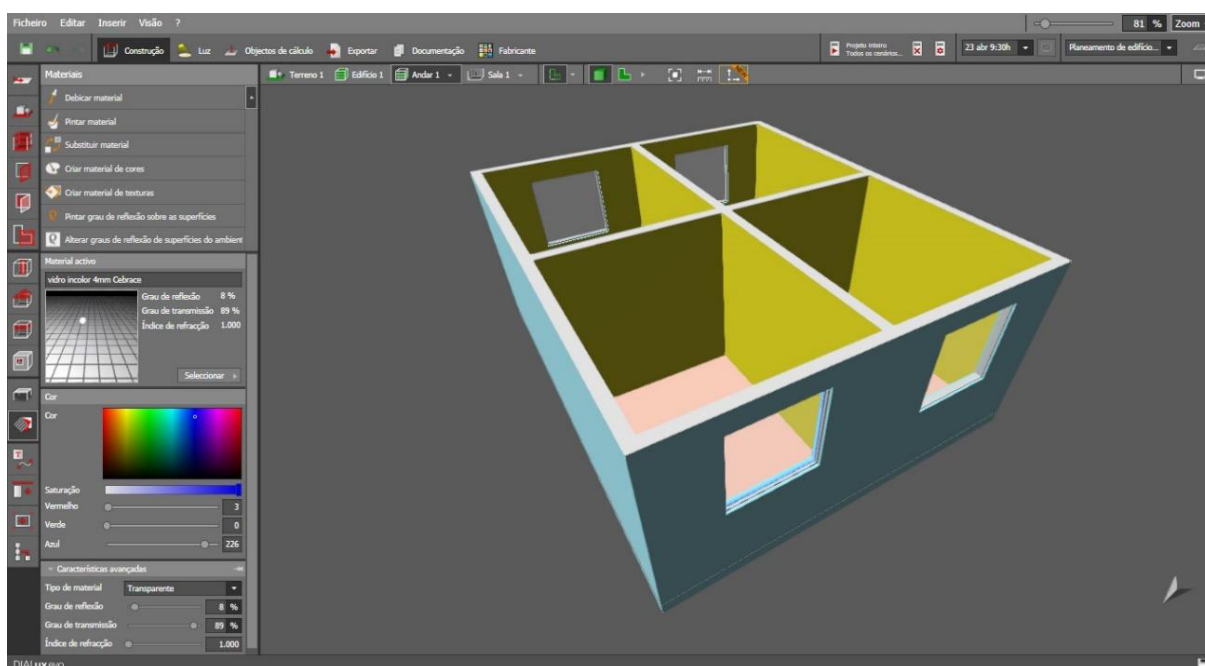
Ainda na tela apresentada na Figura 24 são definidas a orientação do modelo (Ver seta indicando o Norte no canto direito inferior da tela) e as coordenadas referentes à localização da edificação (Ver no canto inferior esquerdo da tela).

Para o estudo de caso desse trabalho foi considerada a edificação localizada em Recife – Longitude: -34.92 | Latitude: -8.05 | fuso horário: -03:00 – e orientação do ambiente avaliado conforme definido no modelo de referência: fachada com janela para oeste e outra fachada exposta para o Norte.

É importante ressaltar que a metodologia da presente pesquisa delimitou a análise à citada localização e orientação do modelo de referência. Entretanto, o software utilizado pode ser utilizado para qualquer localização e orientação da edificação objeto do eventual estudo.

Com a geometria, localização e orientação definidas, foram inseridos os elementos e sistemas de vedação do modelo de referência, inclusive a cor dos seus acabamentos, conforme pode ser observado na tela de visualização 3D do *DIALux EVO 8.0*, apresentado na Figura 25.

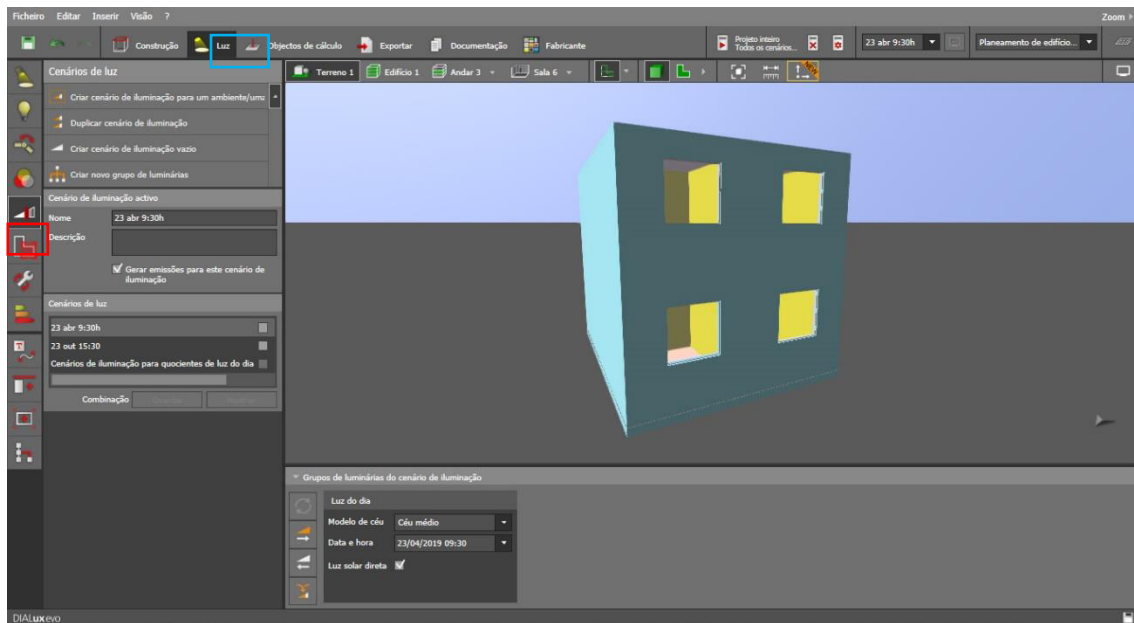
Figura 25 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização 3D do modelo de referência definido para o estudo



Fonte: (Autor, 2020)

O modelo de referência definido para o estudo possui pavimentos sobrepostos, portanto a inclusão do primeiro pavimento foi considerada no *DIALux EVO 8.0*, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização 3D do modelo de referência definido para o estudo



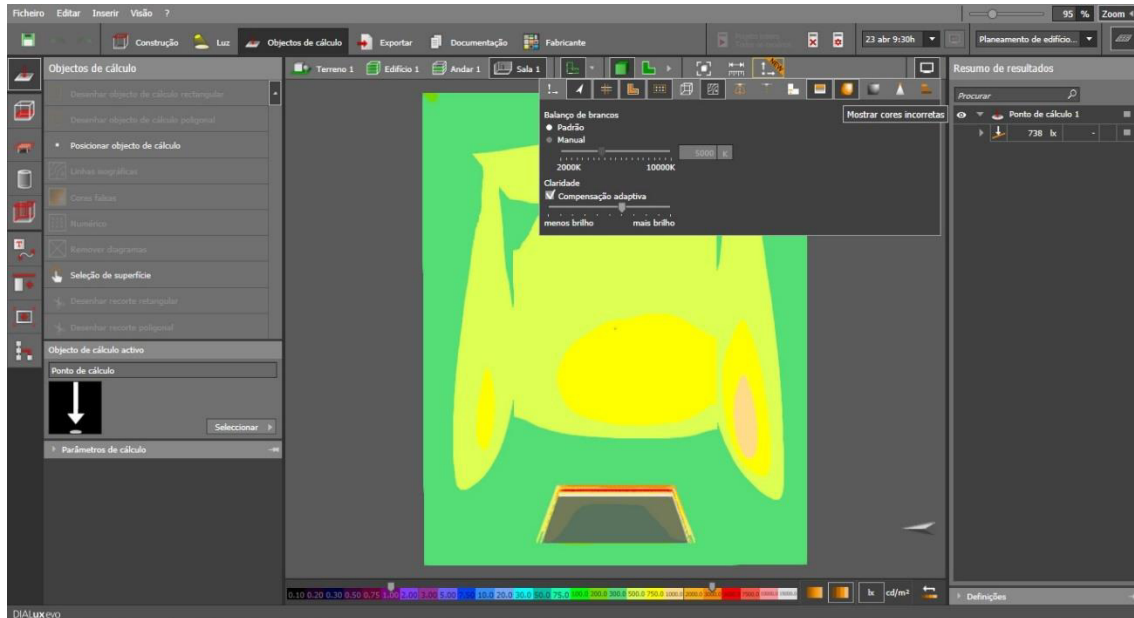
Fonte: (Autor, 2020)

Ainda na Figura 26, em sua extremidade inferior, pode-se visualizar a janela de inserção dos dados climáticos, no caso do estudo em questão, considerado o céu médio, representando uma nebulosidade de 50%, conforme recomendação da ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Por fim, com o modelo detalhado e todos os parâmetros dos materiais inseridos no software, foram realizadas as simulações e obtidos os níveis de iluminância no centro do ambiente a 0,75m de altura para os dias 23 de abril às 9:30h e 23 de outubro às 15h30, seguindo recomendação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Para o modelo de referência e cada variação dos sistemas de vedação foram aferidos níveis de iluminância para as duas datas e horas apresentadas.

A Figura 27 apresenta tela do DIALux com o recurso de visualização da distribuição de luz no ambiente através de curvas de nível de iluminância.

Figura 27 - Tela do DIALux Evo 8.0 contemplando a visualização da destruição de luz no ambiente através de escala de cor apresentada na extremidade inferior da tela



Fonte: (Autor, 2020)

Cabe ressaltar que na simulação computacional não foram considerados quaisquer sombreamentos gerados pelo entorno.

Foram utilizadas as propriedades lumínicas apresentadas nas Tabela 29 e Tabela 30 para os revestimentos e vidros, respectivamente, considerados nas simulações computacionais.

Tabela 29 – Refletâncias à radiação visível consideradas nas simulações

Superfícies	Faixas de refletâncias (Cores escuras a claras) NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013e)	Refletância considerada na simulação		
		Refletância (Cor escura)	Refletância (Cor média)	Refletância (Cor clara)
Teto	0,6 a 0,9	0,6	0,75	0,9
Paredes	0,3 a 0,8	0,3	0,55	0,8
Piso	0,1 a 0,5	0,1	0,3	0,5

Fonte: (Autor, 2020)

Tabela 30 - Propriedade térmica dos materiais translúcidos (vidros) utilizados na modelagem e simulação computacional de desempenho térmico

Vidro	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Emis1	Emis2
Float incolor 4mm (FS=0,85)	0,83	0,08	0,08	0,89	0,08	0,08	0,89	0,89
Float verde 4mm (FS=0,66)	0,58	0,06	0,06	0,81	0,07	0,07	0,89	0,89
Laminado cinza 6mm (FS=0,52)	0,38	0,05	0,05	0,43	0,05	0,05	0,89	0,89

Onde,
Tsol = Transmitância à radiação solar (incidência normal)
Rsol1 = Refletância à radiação solar na face 1 (incidência normal)
Rsol2 = Refletância à radiação solar na face 2 (incidência normal)
Tvis = Transmitância à radiação solar no espectro visível (incidência normal)
Rvis1 = Refletância à radiação visível na face 1 (incidência normal)
Rvis2 = Refletância à radiação visível na face 2 (incidência normal)
Emis1 = Emissividade em ondas longas na face 1
Emis2 = Emissividade em ondas longas na face 2

Fonte: Relatórios de ensaio de fabricante de vidro multinacional

Com todas as situações definidas modeladas e os valores de iluminância registrados para cada modelo, a metodologia dessa pesquisa consistiu na análise comparativa dos resultados em relação ao modelo de referência, cujos resultados e discussões são apresentados no capítulo 4.3.

4 Resultados e análises

Os resultados obtidos serão apresentados e analisados inicialmente separados por requisito de desempenho – térmico, acústico e lumínico natural – e posteriormente serão realizadas considerações considerando a compatibilização entre os resultados e compatibilidade entre os referidos requisitos de desempenho.

4.1 Desempenho térmico

Durante as simulações preliminares e registro dos resultados obtidos, verificou-se que as alterações realizadas no sistema de piso e nos sistemas de vedações verticais internas apresentaram nenhuma, ou variações muito pouco significantes de temperatura em relação ao modelo de referência.

Essa verificação demonstra que os sistemas de envoltória, sistemas de vedações verticais externos (fachadas) e sistemas de cobertura, governam o desempenho térmico da edificação e justifica a análise específica desses sistemas no método simplificado avaliação preconizado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Dessa forma, partindo da informação obtida em análise preliminar de que os sistemas de vedações internos e sistemas de piso apresentaram influência irrelevante no desempenho térmico do modelo de referência, a seguir são apresentados os resultados e análises considerando as variações nos sistemas de vedações verticais externos (fachadas) e sistema de cobertura.

4.1.1 Variações no Sistema de Vedações Verticais Externos

As variações relativas aos sistemas de vedações verticais externos (SVVE) e os resultados obtidos nas simulações computacionais considerando o modelo de referência e tais variações estão apresentadas na Tabela 31.

Cabe ressaltar que nestas modelagens foram considerados os sistemas de vedações internas, sistemas de piso e sistema de cobertura do modelo de referência conforme Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22, respectivamente.

Tabela 31 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho térmico

ID	SVVE	Revestimento interno		Vedação	Revestimento externo		Esquadria	Temperatura(°C) (incremento)*
46	1	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,48
47	2	PIN α 0,5	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,48 (0)
48	3	PIN α 0,7	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,48 (0)
49	4	PIN α 0,3	GES3	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,32 (-0,16)
50	5	PIN α 0,3	ARG2	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,19 (-0,29)
51	6	PIN α 0,3	ARG4	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	32,92 (-0,56)
52	7	PIN α 0,3	ARG6	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	32,73 (-0,74)
53	8	PIN α 0,3	GES1	BCE14	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,12 (-0,36)
54	9	PIN α 0,3	GES1	BCO14	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,26 (-0,22)
55	10	PIN α 0,3	GES1	PCO10	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,85	32,74 (-0,73)
56	11	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG5	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,24 (-0,24)
57	12	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG7	CER α 0,3	ESQFS0,85	33,06 (-0,41)
58	13	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,5	ESQFS0,85	34,80 (+1,33)
59	14	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,7	ESQFS0,85	36,15 (+2,67)
60	15	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,3	ESQFS0,85	33,61 (+0,13)
61	16	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,5	ESQFS0,85	35,00 (+1,52)
62	17	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,7	ESQFS0,85	36,38 (+2,90)
63	18	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,66	33,18 (-0,30)
64	19	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQFS0,52	32,96 (-0,52)

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

NOTA 3: Resultados que apresentam aumento de temperatura em relação ao modelo de referência destacados com preenchimento laranja

NOTA 4: Resultados que apresentam redução de temperatura em relação ao modelo destacados com preenchimento verde

Legenda:

ID: Identificação da simulação computacional

PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara (α 0,3), média (α =0,5) e escura (α =0,7)

GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm

ARG2 | ARG3 | ARG4 | ARG5 | ARG6 | ARG7: Argamassa com espessuras de 2cm a 7cm

BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm

BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

CER α 0,3 | CER α 0,5 | CER α 0,7: Placas cerâmicas clara (α =0,3), média (α =0,5) e escura (α =0,7)

ESQFS0,85: Esquadria com vidro Float incolor 4mm (Fator Solar = 0,85)

ESQFS0,66: Esquadria com vidro Float verde 4mm (Fator Solar = 0,66)

ESQFS0,52: Esquadria com vidro laminado cinza 6mm (Fator Solar = 0,52)

Fonte: (Autor, 2020)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 31, considerando o modelo utilizado no estudo, pode-se fazer as seguintes análises:

- A cor do acabamento interno da vedação vertical externa não interfere no desempenho térmico do ambiente (ID 47 e 48);
- O aumento da espessura das camadas de revestimento, tanto interno quanto externo, apresentaram uma correlação direta com a diminuição da temperatura no ambiente avaliado, contribuindo de forma significativa para a melhoria do desempenho térmico do modelo (ID 49 a 52, 56 e 57).
- As mudanças dos componentes das vedações verticais externas também resultaram em alterações significativas na temperatura no interior do ambiente, sendo que a parede maciça de concreto apresentou o melhor resultado dentre os sistemas avaliados (ID 53 a 55);
- As alterações na cor do revestimento externo das fachadas resultaram em variações muito significativas nos valores de temperatura medidos nos ambientes, sendo que quanto mais escura, maior a temperatura máxima simulada, conseqüentemente, pior desempenho térmico (ID 58 a 62). Pode-se observar ainda que os modelos com revestimento em placas cerâmicas apresentam temperaturas levemente inferiores aos das texturas com a mesma cor.
- Pode-se observar também que quanto menor o Fator Solar dos vidros das esquadrias externas do modelo, menor foi a temperatura medida no ambiente (ID 63 e 64).

A partir dos resultados apresentados pode-se verificar que todas as variações do sistema de vedação vertical externo consideradas no modelo de referência, exceto a cor do acabamento interno, possuem interferência significativa no desempenho térmico final.

O estudo apresentado por (Mendonça et al., 2019) permitiu visualizar a significância dos elementos de vedação vertical externo no consumo energético de edificações. O que corrobora com os resultados apresentado no presente trabalho, demonstrando correlação entre o desempenho térmico e energético da edificação.

Considerando os resultados obtidos no modelo de referência, verifica-se que os principais influenciadores do desempenho térmico foram: **a cor/absortância do acabamento da face externa da fachada; a espessura dos revestimentos internos e externos da fachada; a tipologia do componente das vedações; e o fator solar dos vidros.**

4.1.2 Variações no Sistema de cobertura

As variações relativas aos sistemas de vedações verticais externos (SVVE) e os resultados obtidos nas simulações computacionais considerando o modelo de referência e tais variações estão apresentadas na Tabela 32.

Cabe ressaltar que nestas modelagens foram considerados os sistemas de vedações externas, , sistemas de vedações internas e sistemas de piso do modelo de referência conforme Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21, respectivamente.

Tabela 32 - Sistemas cobertura considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho térmico

ID	SC	Revestimento interno		Vedação	Revestimento externo			Temperatura(°C) (incremento)*
46	1	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,48
65	2	FOR α 0,5	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,50 (+0,02)
66	3	FOR α 0,7	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,49 (+0,01)
67	4	S/FOR	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	34,00 (+0,52)
68	5	FOR α 0,3	LÃ5	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,21 (-0,26)
69	6	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ10	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,26 (-0,22)
70	7	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ13	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	33,10 (-0,37)
71	8	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ16	S/MTE	IMP	PIN α 0,3	32,99 (-0,48)
72	9	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ7	XPS2	IMP	PIN α 0,3	32,86 (-0,62)
73	10	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ7	EPS4	IMP	PIN α 0,3	32,84 (-0,64)
74	11	FOR α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	TFC	PIN α 0,3	33,98 (+0,50)
75	12	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,5	34,70 (+1,15)
76	13	FOR20 α 0,3	S/LÃ	LAJ7	S/MTE	IMP	PIN α 0,7	35,72 (+2,25)

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

NOTA 3: Resultados que apresentam aumento de temperatura em relação ao modelo de referência destacados com preenchimento laranja

NOTA 4: Resultados que apresentam redução de temperatura em relação ao modelo de referência destacados com preenchimento verde

Legenda:

ID: Identificação da simulação computacional

FOR20 α 0,3: Forro com pintura de cor clara ($\alpha=0,3$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,5: Forro com pintura de cor média ($\alpha=0,5$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,7: Forro com pintura de cor escura ($\alpha=0,7$) e distância de 20cm para a laje

S/FOR: Sem forro

S/LÃ: Sem lâ mineral

LÃ5: Lã mineral espessura 5cm sobre o forro

LAJ7|LAJ10|LAJ13|LAJ16: Laje maciça de concreto espessuras 7cm, 10cm, 13cm e 16cm

S/MTE: Sem manta térmica

XPS2: Manta térmica, XPS com 2cm de espessura

IMP: Manta asfáltica 0,4cm de espessura e proteção mecânica de argamassa 5cm

EPS4: Manta térmica, EPS com 4cm de espessura

TFC: Telhado com telhas de fibrocimento e câmara de ar maior que 5cm

PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

Fonte: (Autor, 2020)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 32, considerando o modelo utilizado no estudo, pode-se fazer as seguintes análises:

- A alteração da cor do forro, ou seja, a cor do teto, não interfere de forma significativa na temperatura do ambiente (ID 65 e 66);
- A retirada do forro de gesso do modelo representou um grande incremento da temperatura medida no ambiente, representando uma perda de desempenho térmico na edificação (ID 67);
- O aumento da espessura do elemento estrutural, laje maciça de concreto, apresentou correlação direta com melhoria do desempenho térmico, resultando numa diminuição relativamente relevante da temperatura do ambiente (ID 69, 70 e 71);
- A inserção de manta térmica, seja com XPS ou EPS, na cobertura, mesmo com espessuras relativamente pequenas, se mostrou como uma intervenção com efeito no desempenho térmico e redução das temperaturas do ambiente (ID 72 e 73);
- O telhado com telhas de fibrocimento se mostrou com um desempenho térmico inferior ao do modelo de referência, mesmo considerando a camada de ar entre o telhado e o elemento estrutural (ID 74);
- A mudança na cor/absortância da camada de acabamento externo do sistema de cobertura apresentou um impacto importante no desempenho térmico do modelo, tendo uma relação direta entre o aumento da absortância e da temperatura interna (ID 75 e 76).

Considerando os resultados obtidos no modelo de referência, verifica-se que os principais influenciadores do desempenho térmico foram: **a cor/revestimento da face externa da cobertura; a utilização de manta térmica; a utilização de forro sob o elemento estrutural; o aumento da espessura do elemento estrutural; e a utilização de lã mineral sobre o forro.**

4.1.3 Nível de influência das variações simuladas

A partir dos resultados obtidos, apresentados na Tabela 31 e Tabela 32, e considerando todas as variações simuladas, foi definida uma escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho térmico, apresentado na Tabela 33.

Tabela 33 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho térmico

Incremento (i)*	Nível de influência
$i \leq \pm 0,5^{\circ}\text{C}$	Baixo
$\pm 0,5^{\circ}\text{C} < i \leq \pm 1,0^{\circ}\text{C}$	Médio
$i > \pm 1,0^{\circ}\text{C}$	Alto
<i>* Incremento relativo ao resultado do modelo de referência</i>	

Fonte: (Autor, 2020)

O nível de influência adotado é justificado pela variação de temperatura necessária para enquadramento nos níveis mínimo, intermediário e superior, estabelecido na NBR 15575-1 (ABNT,2013a), conforme apresentado na Tabela 8.

Tomando como referência a escala qualitativa de classificação no nível de influência apresentada na Tabela 33 e os resultados obtidos nas simulações de desempenho térmico apresentados nas Tabela 31 e Tabela 32, é possível fazer a classificação conforme apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho térmico em relação ao modelo de referência

Sistema	Variação no sistema	Nível de influência
SVVE	Cor do revestimento interno	Baixo
	Espessura do revestimento interno	Médio
	Componente da vedação	Médio
	Espessura do revestimento externo	Médio
	Cor do revestimento externo	Alto
	Esquadria externa	Médio
SC	Utilização de forro	Médio
	Cor do revestimento interno do teto	Baixo
	Utilização de lã mineral sobre o forro	Médio
	Espessura do elemento estrutural (Laje)	Médio
	Utilização de manta térmica	Médio
	Tipologia do sistema de cobertura	Alto
	Cor externa do sistema de cobertura	Alto

Fonte: (Autor, 2020)

4.2 Desempenho acústico

Conforme definido na metodologia, foram consideradas variações nos sistemas de vedações verticais externas e internas e nos sistemas de piso. Na análise de desempenho acústico não foram consideradas variações do sistema de cobertura.

4.2.1 Variações no SVVE

As variações relativas aos sistemas de vedações verticais externos (SVVE) estão apresentadas na Tabela 35 e os resultados com o respectivo incremento na isolação acústica na Tabela 36.

Não foram consideradas nas simulações a variação das cores, tendo em vista que tal permuta não interfere em nada nos dados de entrada da simulação e, conseqüentemente, não gera influência no desempenho final.

Cabe ressaltar que nestas modelagens foram considerados os sistemas de vedações internas, sistemas de piso e sistema de cobertura do modelo de referência conforme Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22, respectivamente.

Tabela 35 - Sistemas de vedações verticais externos considerados nas simulações computacionais

SVVE	Revestimento interno		Vedação	Revestimento externo		Esquadria
1	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
4	PIN α 0,3	GES3	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
5	PIN α 0,3	ARG2	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
6	PIN α 0,3	ARG4	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
7	PIN α 0,3	ARG6	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
8	PIN α 0,3	GES1	BCE14	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
9	PIN α 0,3	GES1	BCO14	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
10	PIN α 0,3	GES1	PCO10	ARG3	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
11	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG5	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
14	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG7	CER α 0,3	ESQRW15FS0,85
17	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	TEX α 0,3	ESQRW15FS0,85
18	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW19FS0,66
19	PIN α 0,3	GES1	BCE9	ARG3	CER α 0,3	ESQRW23FS0,52

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência

NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:

PIN α 0,3: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$)

GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm

ARG2 | ARG3 | ARG4 | ARG5 | ARG6 | ARG7: Argamassa cimentícia com espessuras de 2cm a 7cm

BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm

BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm

PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

CER α 0,3: Placas cerâmicas com cor clara ($\alpha=0,3$)

TEX α 0,3: Textura cor clara ($\alpha=0,3$)

ESQRW15FS0,85: Esquadria com $R_w=15$ dB e vidro Float incolor 4mm (Fator Solar = 0,85)

ESQRW19FS0,66: Esquadria com $R_w=19$ dB e vidro Float verde 4mm (Fator Solar = 0,66)

ESQRW23FS0,52: Esquadria com $R_w=23$ dB e vidro laminado cinza 6mm (Fator Solar = 0,52)

Fonte: (Autor, 2020)

Tabela 36 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações no Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE)

ID	SVVE	Variação	$D_{nT,w}$ (SVVI) (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (SP) (dB)	$L'_{nT,w}$ (dB)
			Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*
1	1	Modelo de referência	35	22	49	76
2	4	Revestimento interno GES1 → GES3	35 (0)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
3	5	Revestimento interno GES1 → ARG2	35 (0)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
4	6	Revestimento interno GES1 → ARG4	35 (0)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
5	7	Revestimento interno GES1 → ARG6	35 (0)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
6	8	Vedação BCE9 → BCE14	35 (0)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
7	9	Vedação BCE9 → BCO14	35 (0)	22 (0)	50 (+1)	75 (-1)
8	10	Vedação BCE9 → PCO10	35 (0)	22 (0)	50 (+1)	75 (-1)
9	11	Revestimento externo ARG3 → ARG5	35 (0)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
10	14	Revestimento externo ARG3 → ARG7	35 (0)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
11	17	Acabamento externo CER α 0,3 → TEX α 0,3	35 (0)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
12	18	Esquadria externa ESQRW15 → ESQRW19	35 (0)	26 (+4)	49 (0)	76 (0)
13	19	Esquadria externa ESQRW15 → ESQRW23	35 (0)	30 (+8)	49 (0)	76 (0)

(*) Incremento relativo ao resultado obtido para o modelo de referência

ID: Identificação da simulação computacional

NOTA 1: Resultados que apresentam incrementos positivos em relação ao modelo destacados com preenchimento verde

Fonte: (Autor, 2020)

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 36, podemos chegar à seguintes conclusões:

- A variação da espessura dos revestimentos internos e externos da vedação vertical externa (fachada) não proporcionam incremento no isolamento das vedações verticais externas ou internas (ID 2 a 5, 9 e 10). Também não apresentam grande incremento no isolamento do sistema de piso ou vedações internas, sendo 1dB o maior registrado;
- As variações no componente da vedação vertical externa não propiciaram incremento no isolamento acústico dos sistemas de vedação verticais internas ou externas. Também não apresentam grande incremento no isolamento do sistema de piso ou vedações internas, sendo 1dB o maior registrado (ID 6, 7 e 8);
- A variação da esquadria externa apresentou grande incremento, chegando a aumento de 8dB em relação ao modelo de referência, no isolamento acústico das vedações verticais externas (ID 12 e 13).

Pode-se concluir que as variações nas camadas de acabamento, revestimento e até dos componentes da vedação vertical externa, não conferiram um grande incremento do isolamento acústico dos sistemas de vedações do modelo analisado.

Em contrapartida, a variação do índice de isolamento sonora das esquadrias externas se mostrou como a principal variável de interferência no isolamento acústico da vedação vertical externa do modelo, governando o desempenho acústico da fachada.

Fazendo uma comparação com o critério mínimo de desempenho preconizado na NBR 15575-4 (ABNT, 2013c), apresentado na Tabela 11, o modelo de referência, com $D_{2m,nT,w}=22\text{dB}$, atenderia apenas à classe de ruído I, enquanto considerando as variações dos índices de redução sonora (R_w) das esquadrias para 19dB e 23dB, o sistema de vedação vertical externo apresentou $D_{2m,nT,w}=26\text{dB}$ e $D_{2m,nT,w}=30\text{dB}$, atendendo às classes de ruído II e III, respectivamente.

Em suma, considerando o modelo de referência, a principal estratégia para melhoria do isolamento acústico da fachada seria a **melhoria do índice de redução sonora (R_w) das esquadrias externas**.

4.2.2 Variações no SVVI

As variações relativas aos sistemas de vedações verticais internos (SVVI) estão apresentadas na Tabela 37 e os resultados com o respectivo incremento na isolamento acústica na Tabela 38.

Não foram consideradas nas simulações a variação das cores, tendo em vista que tal permuta não interfere em nada nos dados de entrada da simulação e, conseqüentemente, não gera influência no desempenho final.

Cabe ressaltar que nestas modelagens foram considerados os sistemas de vedações externos, sistemas de piso e sistema de cobertura do modelo de referência conforme Tabela 19, Tabela 21 e Tabela 22, respectivamente.

Tabela 37 - Sistemas de vedações verticais internas considerados nas simulações computacionais

SVVI	Revestimento 1		Vedação	Revestimento 2	
1	PIN α 0,3	GES1	BCE9	GES1	PIN α 0,3
4	PIN α 0,3	GES3	BCE9	GES3	PIN α 0,3
5	PIN α 0,3	ARG2	BCE9	ARG2	PIN α 0,3
6	PIN α 0,3	ARG4	BCE9	ARG4	PIN α 0,3
7	PIN α 0,3	ARG6	BCE9	ARG6	PIN α 0,3
8	PIN α 0,3	GES1	BCE14	GES1	PIN α 0,3
9	PIN α 0,3	GES1	BCO14	GES1	PIN α 0,3
10	PIN α 0,3	GES1	PCO10	GES1	PIN α 0,3

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência
NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:
PIN α 0,3: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$)
GES1 | GES3: Gesso em pasta com espessuras de 1cm e 3cm
ARG2 | ARG4 | ARG6: Argamassa cimentícia com espessuras de 2cm, 4cm e 6cm
BCE9: Alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos na horizontal 9cmx19cmx19cm
BCE14: Alvenaria de blocos cerâmicos com furo na vertical 14cmx19cmx39cm
BCO14: Alvenaria de blocos de concreto com furo na vertical 14cmx19cmx39cm
PCO10: Parede maciça de concreto com 10cm de espessura

Fonte: (Autor, 2020)

Tabela 38 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações nos Sistemas de Vedações Verticais Internos (SVVI)

ID	SVVI	Variação	D _{n,Tw} (SVVI) (dB)	D _{2m,nT,w} (dB)	D _{nT,w} (SP) (dB)	L' _{nTw} (dB)
			Resultado (Incremento) *	Resultado (Incremento) *	Resultado (Incremento) *	Resultado (Incremento) *
1	1	Modelo de referência	35	22	49	76
14	4	Revestimento GES1+1 → GES3+3	37 (+2)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
15	5	Revestimento GES1+1 → ARG2+2	37 (+2)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
16	6	Revestimento GES1+1 → ARG4+4	41 (+6)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
17	7	Revestimento GES1+1 → ARG6+6	44 (+9)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
18	8	Vedação BCE9 → BCE14	38 (+3)	22 (0)	49 (0)	76 (0)
19	9	Vedação BCE9 → BCO14	42 (+7)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)
20	10	Vedação BCE9 → PCO10	43 (+8)	22 (0)	49 (0)	75 (-1)

(*) Incremento relativo ao resultado obtido para o modelo de referência
ID: Identificação da simulação computacional
NOTA 1: Resultados que apresentam incrementos positivos em relação ao modelo destacados com preenchimento verde

Fonte: (Autor, 2020)

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 38, podemos chegar à seguintes conclusões:

- O aumento das espessuras dos revestimentos confere um incremento importante no isolamento acústico das vedações verticais internas. Percebe-se que tal incremento tem correlação direta com o aumento da espessura dos revestimentos (ID 14 a 17);
- A alteração do componente da vedação proporcionou um incremento relevante no isolamento acústico a ruídos aéreos do sistema de vedação vertical interno (ID 18 e 20).
- Pela comparação entre o BCE14 e BCO14, pode-se verificar que o aumento da densidade do elemento de vedação tem correlação direta com o aumento

do isolamento acústico, dessa forma, apesar da mesma dimensão, o bloco de concreto apresenta um isolamento acústico maior;

- As alterações nos SVVI não apresentam incremento relevante no isolamento do sistema de piso ou vedações externas ou de piso, sendo 1dB o maior registrado.

Pode-se concluir que o aumento dos revestimentos e utilização de componentes com maior densidade se apresentaram como os principais artifícios para aumento do isolamento acústico do sistema de vedação vertical interno do modelo de referência. Essa verificação pode ser explicada pela lei das massas.

Fazendo uma análise comparativa em relação aos critérios da Norma de Desempenho, NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), apresentados na Tabela 13, verifica-se que o modelo de referência não atenderia ao nível de desempenho mínimo, mesmo no caso de nenhum dos ambientes ser dormitório ($D_{n,Tw} \geq 40\text{dB}$).

Apenas considerando a alteração do revestimento para argamassa com espessura de 4cm de cada lado ou a mudança do componente para alvenaria de blocos de concreto 14cm x 19cm x 39cm, ou parede de concreto maciça com espessura 10cm, foi verificado resultados de isolação a ruídos aéreos maiores que 40dB.

Ainda considerando os critérios de desempenho mínimo da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), apresentados na Tabela 13, nenhum dos resultados obtidos para o modelo de referência seria suficiente para atendimento ao requisito caso um dos ambientes fosse um dormitório.

Em suma, podemos verificar que, para as variações consideradas no modelo de referência, o principal vetor de incremento do isolamento acústico do sistema de vedação vertical interno é o **aumento da massa dos seus elementos**.

Ademais, ainda considerando o modelo de referência, é possível verificar que os sistemas de vedação vertical convencionalmente utilizados para construção de edificações habitacionais apresentam baixo potencial para atendimento ao nível de desempenho mínimo prescrito pela norma de desempenho, especialmente quando um dos ambientes é um dormitório.

4.2.3 Variações no Sistema de Piso

As variações relativas aos sistemas de vedações verticais internos (SVVI) estão apresentadas na Tabela 39 e os resultados com o respectivo incremento na isolamento acústica na Tabela 38.

Não foram consideradas nas simulações a variação das cores, tendo em vista que tal permuta não interfere em nada nos dados de entrada da simulação e, conseqüentemente, não gera influência no desempenho final.

Cabe ressaltar que nestas modelagens foram considerados os sistemas de vedações externos e internos e sistema de cobertura do modelo de referência conforme Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 22, respectivamente.

Tabela 39 - Sistemas de piso considerados nas simulações computacionais

SP	Forro		Estrutura	Contrapiso		Revestimento
1	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
2	S/FOR	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
3	FOR20	LÃ5	LAJ7	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
4	FOR20	S/LÃ	LAJ10	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
5	FOR20	S/LÃ	LAJ13	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
6	FOR20	S/LÃ	LAJ16	S/MAC	ARG3	CER α 0,3
7	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 14	ARG3	CER α 0,3
8	FOR20	S/LÃ	LAJ7	MAC Δ 29	ARG3	CER α 0,3
9	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG5	CER α 0,3
10	FOR20	S/LÃ	LAJ7	S/MAC	ARG7	CER α 0,3

NOTA 1: A linha 1 representa o modelo de referência
NOTA 2: As células preenchidas em amarelo representam a camada do sistema de vedação alterada em relação ao modelo de referência

Legenda:
FOR20: Forro de placas de gesso com distância de 20cm para a laje
S/FOR: Sem forro
S/LÃ: Sem lâ mineral
LÃ5: Lã mineral espessura 5cm sobre o forro
LAJ7 | LAJ10 | LAJ13 | LAJ16: Laje maciça de concreto com espessuras 7cm, 10cm, 13cm e 16cm
SMAC: Se manta acústica
MAC Δ 14: Manta acústica com ΔL_w igual a 14dB
MAC Δ 29: Manta acústica com ΔL_w igual a 29dB
ARG3 | ARG5 | ARG7: Argamassa cimentícia com espessuras de 3cm, 5cm e 7cm
CER α 0,3: Placas cerâmicas com cor clara ($\alpha=0,3$)

Fonte: (Autor, 2020)

Tabela 40 - Resultados de isolamento acústico obtidos na simulação computacional considerando as variações no Sistema de Piso (SP)

ID	SP	Variação	DnT,w (SVVI) (dB)	D2m,nT,w (dB)	DnT,w (SP) (dB)	L'nTw (dB)
			Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*	Resultado (Incremento)*
1	1	Modelo de referência	35	22	49	76
21	2	Forro de gesso FOR20 → S/FOR	34 (-1)	22	44 (-5)	85 (+9)
22	3	Forro de gesso S/Lã → LÃ5	35	22	49	75 (-1)
23	4	Elemento estrutural LAJ7 → LAJ10	35	23 (+1)	50 (+1)	74 (-2)
24	5	Elemento estrutural LAJ7 → LAJ13	35	23 (+1)	52 (+3)	72 (-4)
25	6	Elemento estrutural LAJ7 → LAJ16	35	23 (+1)	54 (+5)	71 (-5)
26	7	Manta acústica S/MAC → MAC Δ 14	35	22	49	64 (-12)
27	8	Manta acústica S/MAC → MAC Δ 29	35	22	49	49 (-27)
28	9	Contrapiso ARG3 → ARG5	35	23 (+1)	49	75 (-1)
29	10	Contrapiso ARG3 → ARG7	35	23 (+1)	50 (+1)	74 (-2)

(*) Incremento relativo ao resultado obtido para o modelo de referência
ID: Identificação da simulação computacional
NOTA 1: Resultados que apresentam incremento negativo em relação ao modelo destacados com preenchimento laranja
NOTA 2: Resultados que apresentam incremento positivo em relação ao modelo destacados com preenchimento verde

Fonte: (Autor, 2020)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 40, podemos fazer as seguintes análises:

- A retirada do forro considerado no modelo de referência ocasionar uma diminuição significativa do isolamento acústico tanto a ruído aéreo quanto ao ruído de impacto do sistema de piso e ainda impactou de forma menos significativa, reduzindo o isolamento acústico do sistema de vedação vertical interno (ID 21);
- A utilização de lã mineral sobre o forro de gesso proporcionou o incremento de apenas 1dB no isolamento a ruídos de impactos do sistema de piso, e nenhum

incremento no isolamento acústico a ruídos aéreos, mostrando-se como uma solução pouco eficaz (ID 22);

- O aumento da espessura do elemento estrutural do modelo de referência resultou num incremento positivo do isolamento acústico tanto a ruídos aéreos quanto a de impactos, verificando-se uma correlação direta entre o aumento da espessura e o incremento do isolamento acústico (ID 23, 24 e 25);
- O aumento da espessura do elemento estrutural gerou ainda um incremento pouco relevante, do isolamento acústico do sistema de vedação vertical externo (ID 23, 24 e 25);
- A adoção da manta acústica entre o elemento estrutural e o contrapiso no modelo de referência apresentou um incremento muito elevado no que se refere ao isolamento acústico a ruído de impactos do sistema de piso (ID 26 e 27). Contudo, não conferiu nenhuma alteração no isolamento a ruídos aéreos.
- Os resultados apresentados na simulação para o sistema de piso sem forro (ID 21) e para o sistema de piso manta acústica com ΔL_w igual a 29dB (ID 27) são compatíveis com os resultados obtidos em ensaios apresentados em artigo científico por (ZUCHETTO; OLIVEIRA; PATRÍCIO, 2016).
- O aumento da espessura do contrapiso conferiu um incremento pouco relevante em relação ao isolamento acústico a ruídos de impacto e ruídos aéreos do sistema de piso (ID 28 e 29);
O aumento da espessura do contrapiso conferiu também um incremento pequeno em relação ao isolamento acústico do sistema de vedações verticais externas do modelo de referência (ID 28 e 29);

Pode-se verificar que as alterações no sistema de piso do modelo de referência não apresentaram impacto no desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais interno ou externos.

A partir dos resultados apresentados, pode-se considerar a utilização de forro e o aumento da espessura do elemento estrutural como as principais estratégias para incremento do isolamento a ruídos aéreos do sistema de piso do modelo de referência.

Ainda relativo ao isolamento a ruídos aéreos do sistema de piso, em todas as variações avaliadas, exceto o sistema de piso do modelo de referência sem o forro (ID 21), atendem ao nível mínimo de desempenho estabelecido na NBR 15575-3 (ABNT,

2013b) e apresentado na Tabela 14, na situação em que pelo mesmo um dos ambientes é dormitório.

O atendimento ao nível mínimo de desempenho relativo ao isolamento aos ruídos de impacto estabelecidos na Norma de Desempenho também é atendido para a maioria das situações, exceto para o sistema de piso do modelo de referência sem o forro (ID 21), considerando o critério requerido para sistema de piso entre unidades autônomas, conforme apresentado na Tabela 15.

Contudo, se considerarmos o sistema de piso de área comum de uso prolongado sobre unidade habitacional, exposto na mesma Tabela 15, apenas o sistema com uso de manta acústica com Redução Ponderada do Nível de Pressão Sonora de impactos (ΔL_w) igual a 29dB atenderia ao nível mínimo preconizado na NBR 15575-3 (ABNT, 2013b).

Ou seja, no caso de áreas comuns de longa permanência, o aumento da espessura do elemento estrutural ou do contrapiso, ou ainda o uso de mantas acústicas com baixa redução de pressão sonora de impactos provavelmente não será suficiente para garantir o desempenho acústico mínimo estabelecido na NBR 15575-3 (ABNT, 2013b).

Em suma, considerando o estudo realizado no modelo de referência, as melhores intervenções para o incremento do isolamento a ruídos aéreos são **a utilização de forro e o aumento da espessura do elemento estrutural.**

Para o incremento do isolamento a ruídos de impactos, a melhor estratégia é **a utilização de manta acústica seguido do aumento da espessura do elemento estrutural.**

4.2.4 Nível de influência das variações simuladas

A partir dos resultados obtidos, apresentados na Tabela 36, Tabela 38 e Tabela 40, e considerando todas as variações simuladas, foi definida uma escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho acústico, apresentado na Tabela 41.

Tabela 41 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho acústico

Incremento (i)*	Nível de influência
$i \leq \pm 2\text{dB}$	Baixo
$\pm 2\text{dB} < i \leq \pm 5\text{dB}$	Médio
$i > \pm 5\text{dB}$	Alto
<i>*Incremento relativo ao resultado do modelo de referência</i>	

Fonte: (Autor, 2020)

Tomando como referência a escala qualitativa de classificação no nível de influência apresentada na Tabela 41 e os resultados obtidos nas simulações de desempenho acústico apresentados nas Tabela 36, Tabela 38 e Tabela 40, é possível fazer a classificação conforme apresentado na Tabela 42.

Tabela 42 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho acústico em relação ao modelo de referência

Sistema	Variação no sistema	$D_{2m,nT,w}$ (SVVE)	$D_{nT,w}$ (SVVI)	$L'_{nT,w}$ (PISO)	$D_{nT,w}$ (PISO)
SVVE	Espessura do revestimento interno	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	componente da vedação	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Espessura do revestimento externo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Espessura da camada de revestimento externo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Tipo do revestimento externo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Esquadria externa	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
SVVI	Espessura do revestimento	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
	Componente da vedação	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
SP	Utilização de forro	Baixo	Baixo	Alto	Alto
	Utilização de lã mineral sobre o forro	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Espessura do elemento estrutural (Laje)	Baixo	Baixo	Médio	Médio
	Utilização de manta acústica	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
	Espessura do contrapiso	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: (Autor, 2020)

4.3 Desempenho lumínico natural

Durante as simulações e registro dos resultados obtidos, verificou-se claramente que a alteração das espessuras dos elementos estruturais, elemento de vedações e de camadas de revestimento não geravam impacto ao nível de iluminância medido.

Essa verificação pode ser explicada pelo fato de os sistemas opacos não permitirem a passagem de luz, sendo que apenas suas superfícies geram interferência no desempenho lumínico natural.

Sendo assim, partindo da verificação realizada em análise preliminar de que apenas as camadas de acabamento influenciam na iluminação natural do ambiente e, conseqüentemente, no desempenho lumínico natural definido na Norma de Desempenho, serão apresentados nesse capítulo apenas os resultados de iluminância do modelo de referência e variações propostas que contemplaram alterações nos materiais de acabamento e nos materiais translúcidos (vidros).

As variações relativas às camadas de acabamento dos sistemas de vedações verticais internos e externos, sistemas de piso e sistema de cobertura e os resultados obtidos nas simulações computacionais considerando o modelo de referência e tais variações estão apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43 - Sistemas de vedações verticais internos e externos, sistemas de piso e sistemas de cobertura considerados nas simulações computacionais e respectivos resultados de desempenho lumínico natural

ID	SVVE			SVVI	SP	SC	23/04 - 09:30h		23/10 - 15:30h	
	Interno	Externo	Esquadria				Ilumância (lux)		Ilumância (lux)	
30	PIN α 0,3	CER α 0,3	ESQFS0,85	PIN α 0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	738	Inc.	10938	Inc.
31	PIN α 0,5	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	703	-5%	10796	-1%
32	PIN α 0,7	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	629	-15%	10465	-4%
33	PIN α 0,3	CER α 0,5	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	730	-1%	10926	0%
34	PIN α 0,3	CER α 0,7	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	726	-2%	10919	0%
35	PIN α 0,3	TEX α 0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	734	-1%	10932	0%
36	PIN α 0,3	TEX α 0,5	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	734	-1%	10932	0%
37	PIN α 0,3	TEX α 0,7	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	726	-2%	10919	0%
38	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,66	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	651	-12%	9856	-10%
39	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,52	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,3	348	-53%	5249	-52%
40	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN α 0,5	CER α 0,3	FOR α 0,3	621	-16%	10482	-4%
41	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN α 0,7	CER α 0,3	FOR α 0,3	395	-46%	9484	-13%
42	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,5	FOR α 0,3	624	-15%	10375	-5%
43	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,7	FOR α 0,3	568	-23%	10091	-8%
44	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,5	557	-25%	10087	-8%
45	PIN α 0,3	CER@0,3	ESQFS0,85	PIN@0,3	CER α 0,3	FOR α 0,7	475	-36%	9730	-11%

Legenda:

Inc.: Incremento percentual em relação ao modelo de referência

ID: Identificação da simulação computacional

PIN α 0,3 | PIN α 0,5 | PIN α 0,7: Pintura com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

CER α 0,3 | CER α 0,5 | CER α 0,7: Placas cerâmicas com cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$)

ESQFS0,85: Esquadria com vidro Float incolor 4mm (Fator Solar = 0,85)

ESQFS0,66: Esquadria com vidro Float verde 4mm (Fator Solar = 0,66)

ESQFS0,52: Esquadria com vidro laminado cinza 6mm (Fator Solar = 0,52)

FOR20 α 0,3: Forro de placas de gesso com pintura de cor clara ($\alpha=0,3$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,5: Forro de placas de gesso com pintura de cor média ($\alpha=0,5$) e distância de 20cm para a laje

FOR20 α 0,7: Forro de placas de gesso com pintura de cor escura ($\alpha=0,7$) e distância de 20cm para a laje

Fonte: (Autor, 2020)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 43, considerando o modelo utilizado no estudo, podemos fazer as seguintes análises:

- O nível de iluminância no ambiente tem forte interferência da data e horário da verificação. Esse fato pode ser visualizado claramente na Tabela 43 e justificado pela orientação definida para o modelo de referência: Janela do ambiente analisado voltada para o oeste na cidade do Recife. É natural que o ambiente seja mais iluminado no final da tarde;
- A cor do revestimento interno do sistema de vedação vertical externo apresenta influência significativa no desempenho lumínico natural do modelo (ID 31 e 32);
- A cor do revestimento da fachada não apresentou influência relevante no desempenho lumínico natural do modelo (ID 32 a 37);
- Os tipos de vidros considerados apresentaram influência muito significativa no desempenho lumínico natural do modelo (ID 38 e 39);
- A cor do revestimento das paredes internas apresentou influência muito significativa no desempenho lumínico natural do modelo (ID 40 e 41);
- As cores dos revestimentos dos pisos e tetos apresentaram influência significativa no desempenho acústico do modelo (ID 42 a 45);

4.3.1 Nível de influência das variações simuladas

A partir dos resultados obtidos, apresentados na Tabela 43, e considerando todas as variações simuladas, foi definida uma escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho lumínico natural, apresentado na Tabela 44.

Tabela 44 – Escala qualitativa para classificação do nível de influência das camadas de revestimento no desempenho lumínico natural

Incremento (i)*	Nível de influência
$i \leq \pm 5\%$	Baixo
$\pm 5\% < i \leq \pm 20\%$	Médio
$i > \pm 20\%$	Alto
<i>*Incremento relativo ao resultado do modelo de referência</i>	

Fonte: (Autor, 2020)

Tomando como referência a escala qualitativa de classificação no nível de influência apresentada na Tabela 31 e os resultados obtidos nas simulações de desempenho lumínico natural apresentados na Tabela 43, é possível fazer a classificação conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 45 – Nível de influência das variações adotadas no desempenho lumínico natural em relação ao modelo de referência

Sistema	Variação no sistema	Nível de influência
SVVE	Cor do revestimento interno	Médio
	Tipo e cor do revestimento externo	Baixo
	Esquadria externa	Alto
SVVI	Cor do revestimento interno	Alto
SP	Cor do revestimento do piso	Médio
SC	Cor do revestimento do teto	Alto
	Cor externa do sistema de cobertura	Baixo

Fonte: (Autor, 2020)

Corroborando com o resultado apresentado na Tabela 45, a pesquisa desenvolvida por (HUSIN; HARITH, 2012) conclui que tipo de vidro e janela resulta numa grande influência no desempenho da luz natural do ambiente.

4.4 Compilação

A Tabela 46 apresenta uma análise conjunta da influência das camadas dos sistemas de revestimento no desempenho acústico, lumínico natural e térmico no modelo de referência,

Tabela 46 – Compilação do nível de influência nas variações dos sistemas de revestimento no desempenho acústico, térmico e lumínico

Sistema	Variação no sistema	Desempenho Acústico				Des. Lum.	Des. Térm.
		$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$ (SVVI)	$D_{nT,w}$ (Piso)	$L'_{nT,w}$		
SVVE	Cor do revestimento interno					Médio	
	Espessura da camada de revestimento interno						Médio
	Espessura da camada de revestimento externo						Médio
	Tipo e cor do revestimento externo						Alto
SVVI	Cor do revestimento interno					Alto	
	Espessura da camada de revestimento interno		Alto				
SP	Espessura do contrapiso						
	Cor do revestimento do piso					Médio	
SC	Cor do revestimento do teto					Alto	
	Utilização de manta térmica						Médio
	Cor externa do sistema de cobertura						Alto

Fonte: (Autor, 2020)

Visando uma análise completa das modelagens e resultados obtidos, a Tabela 47 apresenta a compilação dos níveis de influência de todas as variações nos sistemas de vedação consideradas no estudo.

Tabela 47 – Compilação do nível de influência nas variações dos sistemas de vedações no desempenho acústico, térmico e lumínico

Sistema	Variação no sistema	Desempenho Acústico				Des. Lum.	Des. Térm.
		$D_{2m,nT,w}$	$D_{nT,w}$ (SVVI)	$D_{nT,w}$ (Piso)	$L'_{nT,w}$		
SVVE	Cor do revestimento interno					Médio	
	Espessura da camada de revestimento interno						Médio
	Componente da vedação						Médio
	Espessura da camada de revestimento externo						Médio
	Tipo e cor do revestimento externo						Alto
	Esquadria externa	Alto				Alto	Médio
SVVI	Cor do revestimento interno					Alto	
	Espessura da camada de revestimento interno		Alto				
	Componente da vedação		Alto				
SP	Utilização de forro			Alto	Alto		
	Utilização de lã mineral sobre o forro						
	Espessura do elemento estrutural (laje)			Médio	Médio		
	Utilização de manta acústica				Alto		
	Espessura do contrapiso						
	Cor do revestimento do piso					Médio	
SC	Utilização de forro						Médio
	Cor do revestimento do teto					Alto	
	Utilização de lã mineral sobre o forro						Médio
	Espessura do elemento estrutural (laje)						Médio
	Utilização de manta térmica						Médio
	Tipologia do sistema de cobertura						Alto
	Cor externa do sistema de cobertura						Alto

Fonte: (Autor, 2020)

5 Conclusões

Considerando a responsabilidade dos projetistas em especificar corretamente materiais a serem empregados nas novas construções a fim de atender aos níveis de desempenho estabelecidos na Norma de Desempenho –NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) – e pelo incorporador, de acordo com o Perfil de Desempenho do Empreendimento o estudo realizado apresenta um resumo da influência no desempenho térmico, acústico e lumínico para cada variação testada no modelo de referência, conforme apresentado na Tabela 47.

Em resumo, considerando o modelo de referência e a metodologia adotadas e as principais análises, temos:

Desempenho térmico

- O desempenho térmico é influenciado por praticamente todos os elementos e componentes dos sistemas de vedações verticais externos (fachadas) e sistema de cobertura, sendo as cores da fachada e do sistema de cobertura, utilização de manta térmica e tipologia do sistema de cobertura os principais fatores de influência.
- O desempenho térmico não sofre influência significativa do sistema de piso ou do sistema de vedação vertical interno.

Desempenho acústico dos SVVE (fachadas)

- Os sistemas de revestimentos têm baixa influência no desempenho acústicos do sistema de vedação vertical externo (fachada), sendo as esquadrias externas o principal elemento de influência nesse requisito;

Desempenho acústico dos SVVI (Vedações Verticais Internas)

- Os sistemas de revestimentos têm uma alta influência no desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais internos, sendo da mesma ordem de grandeza da influência do componente da vedação. Contudo, os maiores incrementos foram obtidos com espessuras elevadas, a partir de 4cm de cada lado, o que pode não ser viável do ponto de vista executivo.

Desempenho acústico dos SP (Sistemas de Piso)

- O uso de forro no sistema de piso proporcionou um aumento de isolamento importante tanto aos ruídos aéreos quanto de impactos. Em contrapartida, o uso da lã mineral não se mostrou como uma solução eficiente para o isolamento acústico.
- O aumento da espessura da camada estrutural do sistema de piso proporcionou aumento no isolamento acústico tanto a ruídos aéreos quanto de impactos. Contudo, o aumento da espessura do contrapiso se mostrou como uma solução pouco eficaz.
- O uso de mantas acústicas resilientes, num sistema de contrapiso flutuante, se mostrou como a solução mais eficiente para aumento da isolação a ruído de impacto, embora a solução não apresente aumento relevante ao isolamento a ruídos aéreos.

Desempenho lumínico natural

- As principais variações que influenciaram o desempenho lumínico natural foram as esquadrias externas e a cor dos revestimentos das paredes internas e teto. Quanto mais translúcido o vidro e mais clara a cor das paredes e internas e teto, maior o nível de iluminância no ambiente.
- As cores do revestimento externo e do piso também apresentam influência no desempenho lumínico, embora com menor importância.

Apesar das análises terem sido realizadas para a Zona Bioclimática 08 e, conseqüentemente, apenas para a condição de verão, e serem restritas ao modelo de referência considerado, o estudo pode servir como uma referência inicial para entendimento inicial da influência das camadas de revestimento no desempenho térmico, acústico e lumínico e ser útil para uma especificação preliminar dos componentes e elementos de uma edificação.

Tal influência das camadas de revestimento no desempenho da edificação pode variar significativamente a partir da geometria e localização da edificação e de uma infinidade de materiais não considerados nas modelagens realizadas nesse estudo.

Dessa forma, é essencial que seja realizado estudo específico para cada projeto de edificação, de forma a viabilizar a melhor solução para o caso.

Trabalhos complementares ao estudo apresentado podem ser realizados:

- Ampliar as variações dos componentes e elementos consideradas nas simulações considerando, por exemplo, alvenarias de blocos cerâmicos revestidas com placas de gesso acartonado ou contrapiso com EVA reciclado, estudos realizados com base em ensaio de isolamento acústico realizado em laboratório por (Trevisan et al., 2016) e (TUTIKIAN et al., 2013), respectivamente;
- Alterar o modelo de referência: geometria, orientação, localização etc.;
- Realizar análises por métodos de ensaio em campo;
- Realizar simulações com softwares diferentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações: Zonamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2005a.

_____. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações: Método de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2005b.

_____. **NBR 5674 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2012.

_____. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2013a.

_____. **NBR 15575-3: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2013b.

_____. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para sistemas de vedações verticais externas e internas.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2013c.

_____. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para sistemas de cobertura.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2013d.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho- Parte 1: Interior.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2013e.

_____. **NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2016.

_____. **NBR 15270 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos.**Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2017.

ALMEIDA, M.; SILVA, S.; FERREIRA, T. **Física das Construções** - Sebenta de Acústica Ambiental e de Edifícios. p. 118, 2007.

AMARAL NETO, C. DE S. et al. **Norma de Desempenho - Um Marco Regulatório na Construção Civil.** p. 64, 2013.

AUGUSTO, CARLOS OLIVEIRA; BRAGANÇA, LUÍS; ALMEIDA, M. **Materiais de isolamento térmico de edifícios para além da energia operacional**. Revista Hábítat Sustentable, v. 6, p. 30–39, 2016.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering noise control - Theory and practice**. Spon Press, 2009.

BOLSSONI, GABRIELA; MARTINEZ, LUCAS; LARANJA, ANDRÉA; ALVAREZ, C. **Análise do desempenho lumínico de ambientes internos a partir da atuação de elementos vazados**. XV ENCAC, v. 1, n. 1, p. 2639–2648, 2019.

BORGES, C. A. DE M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 22 jul. 2008.

BORISUIT, A. et al. **Effects of realistic office daylighting and electric lighting conditions on visual comfort, alertness and mood**. Lighting Research and Technology, v. 47, n. 2, p. 192–209, 2015.

CARPANEDO, F. A. et al. **Análise da iluminação natural em ambiente interno de edificações de escritório de diferentes tipologias na cidade de Vitória-ES**. XV ENCAC, n. 1, p. 2609–2618, 2019.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. 2013.

CEMENSATI, A. G.; TESSARO, I. S.; LUKIANTCHUKI, M. A. **Análise da iluminação natural em salas de aula. Simulações computacionais e ensaios no Heliodon**. XV ENCAC, n. 1, p. 2619–2628, 2019.

CHAN, A. L. S. Effect of adjacent shading on the thermal performance of residential buildings in a subtropical region. **Applied Energy**, v. 92, p. 516–522, 2012.

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. UFSC, 2009.

COSTA E SILVA, A. J. DA. **Método para gestão das atividades de manutenção de revestimentos de fachada**. [s.l.] USP - Universidade de São Paulo, 2008.

CRISTINA, K. et al. **Desempenho lumínico de janelas idênticas em cidades**

distintas. XV ENCAC, n. 1, p. 2746–2755, 2019.

DA SILVA, R. C. **Avaliação de ferramenta de simulação da transmissão sonora para projetos de isolamento acústico em edificações habitacionais**. 2014.

DOE, U. S. D. O. E. **EnergyPlus: Version 8.1.0**. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 8 jul. 2019.

FERREIRA, M. DE A. DE. **Sistemas construtivos inovadores**. [s.d.].

FIGUEIRA, C.; KRAI, B. D. A.; OLIVEIRA, M. F. DE. **Simulação computacional de iluminação natural. Análise da influência do entorno, vidros e revestimentos internos**. XV ENCAC, n. 1, p. 2896–2905, 2019.

FONTANA, F.; FONSECA, R. W.; PEREIRA, F. O. R. **Impacto do contexto urbano na disponibilidade de luz natural no ambiente interno e no consumo energético de iluminação artificial**. XV ENCAC, n. 1, p. 2816–2825, 2019.

FRINGUELLINO, M.; SMITH, R. S. **Sound transmission through hollow brick walls**. *Building Acoustics*, v. 6, n. 3, p. 211–224, 1999.

GABRIEL, E. et al. **Análise comparativa de medições de níveis de iluminância in loco e por simulação Plug-in DIVA/RHINOCEROS**. XV ENCAC, n. 1, p. 2584–2589, 2019.

GARCIA, D. D. L. R.; PEREIRA, F. O. R. **Análise anual da exposição à incidência solar direta, ao ofuscamento e aos níveis de iluminação natural em ambiente com proteções solares internas**. XV ENCAC, n. 1, p. 2574–2583, 2019.

GOIS, A. et al. **Análise da iluminação natural e artificial em enfermaria através de simulações computacionais com os softwares AGI32 e LICASO. Estudo de caso localizado no hospital Universitário Gaffrée e Guinle (HUGG) - RJ**. XV ENCAC, n. 1, p. 2599–2608, 2019.

GOMES, J. E. V. **Avaliação do desempenho de edifícios segundo a ABNT NBR 15575: Adaptação ao caso de edifício reabilitado**. 2015.

HUSIN, S. N. F. S.; HARITH, Z. Y. H. **The Performance of Daylight through Various Type of Fenestration in Residential Building**. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 36, n. June 2011, p. 196–203, 2012.

INSUL, P. S. I. **About Insul**. Disponível em: <<http://www.insul.co.nz/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered**, 1984.

_____. **Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 3: Measurement of impact sound insulation**, 2010.

_____. **Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms**, 2017a.

_____. **Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 2: Impact sound insulation between rooms**, 2017b.

_____. **Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**, 2017c.

KNEBEL, D. E. et al. **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**, 2017.

Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. **Arquivos climáticos**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 28 out. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Eletrobras/PROCEL, 2014.

LORENSI, L. S. **Análise Crítica e Proposições de Avanços nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Luciani Som**. UFRS, 2015.

MANSO, MARCO A.; MITIDIÈRE FILHO, CLÁUDIO V.. **Modelo de sistema de coordenação de projetos - estudo de caso em empresas construtoras e incorporadoras na cidade de São Paulo**. Revista Gestão e Tecnologia de Projetos,

Vol.2, nº1, USP-SP, maio de 2007.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **O método do balanço térmico através de simulação computacional no programa Energyplus**. LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2008.

MELO, M. J. A. C. DE. **Análise de laudos emitidos sobre “prédios tipo caixa” da região metropolitana de Recife: causas apontadas para os desabamentos e interdições**, 2007.

MENDONÇA, M. et al. **Análise da influência do sistema de vedação vertical externa no consumo energético de um edifício residencial localizado na zona bioclimática 08**. XV ENCAC, n. 1, p. 2120–2128, 2019.

OLIVEIRA, A. DE. **Adição de Amortecimento Estrutural Usando Materiais Viscoelásticos**. Chemistry & biodiversity, v. 1, n. 11, p. 165, 2004.

OLIVEIRA, M. F. DE; PATRICIO, J. V. **Impact Noise of Non-homogeneous Floors: Analysis of Different Input Parameters for Computational Modeling Predictions**. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 11, n. 3, p. 274–281, 2017.

PASSOS, P. M. D. O. S.; CARASEK, H. **Influência do revestimento de argamassa no desempenho de argamassa no desempenho térmico**. p. 674–681, 2019.

PLAZAS, J. P. A. **Estudio de sensibilidad de claraboyas en el trópico, considerando el desempeño integrado de suficiencia lumínica, confort visual y ganancia solar**. XV ENCAC, p. 2785–2795, 2019.

PROACUSTICA. **Manual ProAcústica de recomendações básicas para Contrapisos flutuantes**. 2015.

PROACÚSTICA. **Manual Proacústica para classe de ruído das edificações habitacionais**. 2017.

QUEIRÓZ, G. R. DE et al. **Simulação de iluminação natural no Autodesk Revit conforme normativas brasileiras**. XV ENCAC, n. 1, p. 2906–2915, 2019.

RECIFE. **Lei Municipal Nº 16.292/97**, 1997.

REMÍGIO, Ê. G. et al. **Estudo comparativo entre ensaios de campo e simulações computacionais para isolamento do ruído aéreo de VVI constituídas por bloco**

cerâmico de 8 furos. XV ENCAC, n. 1, p. 227–234, 2019.

REZENDE, E. C. L. **Análise comparativa das simulações computacionais e medições em campo dos critérios de desempenho acústico em vedações verticais internas e vedações horizontais.** UNICAP, 2019.

RODRIGUEZ, L. L.; NEVES, L. DE O. **Efeitos do uso de varandas no desempenho luminoso de saletas comerciais de edifícios de escritórios.** XV ENCAC, n. 1, p. 2776–2785, 2019.

ROMÉRO, M. de A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós-ocupação: Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social.** Coleção Habitare. 294p. Porto Alegre: ANTAC, FINEP, CAIXA, 2003.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - Formulação e aplicação de uma metodologia.** USP, 1989.

SANTOS, A. C. et al. **Uso do Energyplus em pesquisas brasileiras.** ENTAC 2018, n. 555–568, p. 14, 2018.

SERRANO, P. G. et al. **Guia de softwares para acústica.** Portal Acú ed. [s.l: s.n.].

SHISHEGAR, N.; BOUBEKRI, M. **Natural Light and Productivity: Analyzing the Impacts of Daylighting on Students' and Workers' Health and Alertness.** International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences, v. 3, n. 1, p. 1–6, 2016.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA CONSULTIVA. **Os impactos da Norma de Desempenho no Setor da Arquitetura e Engenharia Consultiva.** 2015.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575.** Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 12, p. 12–21, 2014.

SOUZA, J. L. P. DE; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. **Análise Quantitativa Da Norma De Desempenho (Nbr N° 15.575/2013) E Principais Desafios Da Implantação Do Nível Superior Em Edificação Residencial De Multipavimentos.** Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 13, n. 1, p. 127, 2018.

SOUZA, L. C. DE; ALMEIDA, M. G. DE; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. Edufscar, 2013.

TAKAHASHI, V. F. DE M. **Desempenho Acústico De Edificações: Ferramenta Computacional Para Avaliação**. p. 168, 2016.

TECHIO, L. et al. **Avaliação da iluminação natural com o programa APOLUX - Estudo de caso em Santa Maria, RS**. XV ENCAC, n. 1, p. 2697–2706, 2019.

TEIXEIRA, J. et al. **A Influência das orientações das aberturas e condições de céu nos níveis de iluminação natural em um ambiente hospitalar**. XV ENCAC, n. 1, p. 2554–2563, 2019.

TRAPANO, P. DI. **Análise dos níveis de iluminação natural em sala de aula através de medições e softwares de simulação AGI-32 e LICASO: Estudo de caso localizado no edifício Jorge Machado Moreira – UFRJ**. XV ENCAC, n. 1, p. 2649–2658, 2019.

TREVISAN, R. et al. **Sound insulation comparative study on ceramic masonry with mortar or plasterboard coating**. ICA 2016, n. September, 2016.

TUTIKIAN, B. F. et al. **Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto**. Materiales de Construcción, v. 63, n. 310, p. 309–316, 2013.

VERÍSSIMO, J. et al. **Avaliação do impacto sonoro através de mapas acústicos após implantação de dois empreendimentos residenciais**. XV ENCAC, n. 1, p. 161–169, 2019.

ZUCHETTO, L. K.; OLIVEIRA, M. F. DE; PATRÍCIO, J. V. **Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors**. ICA 2016, n. September, 2016.