



Universidade Federal do Ceará
Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design

Área de Concentração: Produção do Espaço Urbano e Arquitetônico
Linha de Pesquisa: Modelagem e Design da Informação
Aluna: Débora Pereira Costa Araújo

Envoltória rígida
A permanência da identidade face às mudanças climáticas

Fortaleza
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A688e Araújo, Débora Pereira Costa.

Envoltória rígida : a permanência da identidade face às mudanças climáticas / Débora Pereira Costa
Araújo. – 2026.
200 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design,
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Mariana Monteiro Xavier Lima.

Coorientação: Prof. Dr. Neliza Maria e Silva Romcy.

1. Envoltória rígida. 2. Desempenho térmico. 3. Patrimônio edificado. 4. BIM. 5. Suporte à decisão. I.
Título.

CDD 720

DÉBORA PEREIRA COSTA ARAÚJO

ENVOLTÓRIA RÍGIDA:
A PERMANÊNCIA DA IDENTIDADE FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design, como requisito para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo e Design.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Mariana Monteiro Xavier Lima (Universidade Federal do Ceará)
Presidente e orientadora

Profa. Dra. Neliza Maria e Silva Romcy (Universidade Federal do Ceará)
Coorientadora

Prof. Dr. Paulo Jorge Alcobia Simões (Universidade Federal do Ceará)
Examinador interno

Profa. Dra. Mônica Santos Salgado (Universidade Federal do Rio de Janeiro)
Examinadora externa

Fortaleza
2025

AGRADECIMENTOS

Expresso agradecimentos imensuráveis aos meus pais, por todo amor e entusiasmo desde o jardim de infância. Ao Renan, meu irmão, por sua amizade e horas de conversas complexas. Ao Henrique, por todo seu carinho e apoio incondicional.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design da UFC. Em especial, sou imensamente grata à professora Mariana, minha orientadora, por sempre acreditar nas minhas ideias e por todos seus ensinamentos, bem como à professora Neliza, minha coorientadora, pela inspiração e incentivo, sem os quais esta dissertação não existiria. Ao professor Renan, por sua confiança e aprendizados. Ao professor Paulo, pelos conselhos e disposição em ajudar.

Agradeço, também, às bolsistas Thaíssa, por todo seu esforço e brilhantismo, e Iara, pela positividade, as quais participaram do desenvolvimento deste trabalho.

Enfim, agradeço à FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro concedido, que viabilizou a realização desta pesquisa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Correlação de temas e naturezas do problema de pesquisa.....	5
Figura 2. Estrutura da dissertação.....	14
Figura 3. Tríade semiótica e classificação peirceana dos signos.....	27
Figura 4. Restrições de projeto no modelo projetual de Lawson.....	28
Figura 5. Áreas de interesse que podem estar integradas no modelo BIM.....	48
Figura 6. Modelo da design science research.....	52
Figura 7. Espaço intersticial de parâmetros de envoltória rígida e de desempenho térmico.....	83
Figura 8. Diagrama: estrutura do modelo conceitual de fluxo de informação.....	84
Figura 9. Estrutura do workflow.....	87
Figura 10. Organização de seções de processamento de dados na interface visual de programação	88
Figura 11. Diagrama: Relação entre classes de parâmetros e índices de rigidez geral e específica.....	90
Figura 12. Mapa diagramático de localização do Pavilhão Reitor Martins Filho.....	92
Figura 13. Pavilhão Reitor Martins Filho.....	93
Figura 14. Índice de Risco às Mudanças de Temperatura de Fortaleza.....	94
Figura 15. Modelo BIM do Pavilhão Reitor Martins Filho.....	97
Figura 16. Visão geral do dashboard.....	99
Figura 17. Representação de indicadores de rigidez geral e específica.....	100
Figura 18. Representação do impacto de alterações.....	101
Figura 19. Interface de gráficos do dashboard.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Trabalhos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.....	15
Quadro 2. Síntese de etapas, atividades e produtos da DSR.....	54
Quadro 3. Construção do indicador de rigidez: questões-guia para construção de indicadores compostos e respostas para soluções.....	61
Quadro 4. Procedimentos e representação das informações do dashboard.....	65
Quadro 5. Conscientização do problema.....	78
Quadro 6. Identificação de parâmetros contidos no espaço intersticial do modelo conceitual de fluxo de informação.....	95
Quadro 7. Normalização de dados de frequência e valores de rigidez para avaliação do construto.....	104
Quadro 8. Intervalos de tolerância para diferenças absolutas.....	104
Quadro 9. Categorização por intervalos de tolerância.....	105
Quadro 10. Alterações de projeto propostas e repensadas após a visualização do dashboard.....	106
Quadro 11. Resultados da análise F.O.F.A. para avaliação do modelo.....	107

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1 Contextualização.....	3
1.2 Delimitação do problema.....	4
1.2.1 Natureza contextual do problema: transformações socioespaciais.....	5
1.2.2 Natureza ontológica do problema: envoltórias rígidas.....	6
1.2.3 Natureza informacional do problema: modelagem da informação.....	6
1.2.4 Síntese do problema.....	7
1.3 Justificativa e estado da arte.....	8
1.4 Pergunta.....	11
1.5 Hipótese.....	11
1.6 Objetivos.....	12
1.6.1 Objetivo geral.....	12
1.6.2 Objetivos específicos.....	12
1.6 Estrutura da dissertação.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 O construto.....	19
2.1.1 A envoltória.....	19
2.1.2 A rigidez.....	25
2.1.3 A envoltória rígida.....	30
2.2 Classes de parâmetros de uma envoltória rígida.....	40
2.2.1 Classe geral.....	41
2.2.2 Classe de componentes.....	42
2.2.3 Classes de atributos.....	43
2.3 Modelagem e design da informação.....	43
2.3.1 Representação da informação no processo de projeto.....	44
2.3.2 Building Information Modeling.....	45
2.3.1.1 Modelagem paramétrica.....	46
2.3.1.2 Interoperabilidade.....	47
2.3.3 Projeto baseado em desempenho.....	49
3. MÉTODO.....	52
3.1 Enquadramento metodológico.....	52
3.2 Artefatos.....	53
3.3 Etapas e procedimentos metodológicos.....	54
3.3.1 Conscientização do problema.....	57
3.3.2 Sugestão.....	58
3.3.3 Desenvolvimento.....	59
3.3.4 Avaliação.....	73
3.3.5 Conclusão.....	77

4. RESULTADOS.....	78
4.1 Proposta.....	78
4.2 Tentativa de design.....	82
4.2.1 Construto.....	82
4.2.2 Modelo.....	82
4.2.3 Métodos.....	84
4.3 Artefatos.....	85
4.3.1 Construto.....	85
4.3.2 Modelo.....	87
4.3.3 Métodos.....	89
4.3.4 Instanciação.....	92
4.4 Medidas de performance.....	103
5. CONCLUSÃO.....	108
5.1 Contribuições teóricas.....	108
5.2 Contribuições práticas.....	109
5.3 Limitações e pesquisas futuras.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
APÊNDICE A: PROTOCOLO DE APLICAÇÃO DO INDICADOR DE RIGIDEZ.....	136
APÊNDICE B: PROTOCOLO DE APLICAÇÃO DO WORKFLOW.....	148
APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO ONLINE.....	160
APÊNDICE D: FICHAS DE DESENHO.....	173
APÊNDICE E: RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO.....	175

RESUMO

A presente pesquisa aborda um problema que surge na interseção entre as mudanças climáticas e a permanência de edificações que possuem valor simbólico significativo, uma vez que, nada obstante o interesse em preservá-las, muitas destas edificações inserem-se em uma paisagem acelerada, cuja reformulação é potencializada pelas mudanças climáticas e pelo aumento das temperaturas. Assim, é identificado um elemento arquitetônico notada e simultaneamente crucial para a memória e para o desempenho térmico da edificação: a envoltória. Este elemento aponta para o surgimento de um conceito relativamente inexplorado: a “envoltória rígida”, a partir do que se expressa o fenômeno resultante das forças de mudança e de permanência que coexistem na edificação. Propõe-se, então, um conjunto de artefatos que buscam viabilizar a representação da rigidez de envoltórias em um ambiente BIM (*Building Information Modelling*) para suporte à decisão, considerando como alterações de projeto impactam na imagem da edificação e no seu desempenho térmico. Para tanto, a abordagem metodológica empregada foi a *Design Science Research* (DSR), que foi sucedida com as seguintes etapas de pesquisa: 1) Conscientização do problema: aprofundamento dos conceitos-chave da pesquisa (o desempenho térmico, a Teoria Geral dos Sistemas, a representação da informação, entre outros); 2) Sugestão: proposições preliminares para os artefatos; 3) Desenvolvimento: consolidação dos artefatos (conceito de envoltória e sua representação formal em um indicador, *workflow* que associa este conceito com outros conceitos relevantes; protocolos de aplicação do indicador e do *workflow*; instanciação dos artefatos no caso do Pavilhão Reitor Martins Filho); 4) Avaliação: validação dos artefatos a partir de métricas de performance; 5) Conclusão: divulgação dos resultados. A pesquisa atingiu o objetivo de criar um conjunto de artefatos para representar a rigidez de envoltórias e obteve resultados que trouxeram consigo soluções para o desafio de lidar com a abstração de dados de percepção da imagem e à possibilidade de produzir as representações de suporte à decisão em quaisquer contextos de projeto que se deseje analisar.

Palavras-chave: Envoltória rígida, desempenho térmico, patrimônio edificado, BIM, suporte à decisão.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A presente pesquisa tem origem na problemática que trata da existência de edifícios que, não obstante seu valor simbólico significativo, inserem-se em um contexto urbano de constantes transformações, o que estabelece uma relação antagônica entre os interesses da permanência e da mudança. Uma vez que apresenta implicações no processo de projeto, esta condição conflitual traz à tona a dificuldade de lidar com as informações relevantes para manutenção da identidade da e memória das edificações e, ao mesmo tempo, para a adaptabilidade e responsividade às novas demandas socioespaciais.

Esta problemática é reforçada, por exemplo, pelo que se observa em projetos de *retrofit*, à medida que, em projetos desta natureza, são identificados desafios significativos para a conciliação entre a preservação das características originais das edificações e a adaptação às novas demandas no espaço arquitetônico (Saffari e Beagon, 2022; Walker, Hischer e Schlueter, 2022; Zhang *et al.*, 2021; Lu *et al.*, 2021; Martínez Rubio, Fernández Martín, San José Alonso, 2018).

Como aspecto condicionante para as transformações socioespaciais, as mudanças climáticas consolidam-se como uma das questões mais notáveis dos diversos campos de estudo e prática da contemporaneidade, estando entre eles os campos de estudo relacionados ao setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), bem como ao planejamento urbano.

Particularmente, o aumento das temperaturas médias globais e as suas projeções mostraram-se amplamente discutidos em virtude da sua notável intensificação nas últimas décadas (Molion, 2008; Berlato e Cordeiro, 2018; Gagnon, 2022; Ma *et al.*, 2022). O ano de 2024 apresentou uma elevação de 1,6°C da média da temperatura global, ultrapassando o limite de 1,5°C estipulado pelo Acordo de Paris (Melo, 2025). No campo da arquitetura e urbanismo, este aumento de temperaturas torna-se significativamente determinante para as práticas de projeto e de

planejamento (Alves, Gonçalves e Duarte, 2021; Cavalcanti e Alvim, 2020; Alves, 2020; Guarda, Durante e Callejas, 2018).

Em particular, o setor da AEC tem sido apontado como um dos maiores responsáveis por grande impacto ambiental, sendo causador de 35% das emissões de carbono na atmosfera e de, aproximadamente, 30% dos recursos naturais extraídos no mundo (Casado, 2011 *apud* Quintella, 2016). Pinheiro (2023) corrobora que, uma vez que a construção civil é um domínio que essencialmente explora bens e serviços naturais, é reforçado um papel de responsabilidade do fazer arquitetônico quanto às questões ambientais atuais, bem como “a necessidade de se pensar em ambientes saudáveis adequados às condições climáticas locais” (Pinheiro, 2023). Lamberts, Dutra e Pereira (2014) acrescentam que tais impactos determinam-se desde o projeto arquitetônico, ao afirmarem que a eficiência energética, por exemplo, perpassa os três vértices da tríade vitruviana e, por isso, é uma decorrência de cada decisão de projeto, desde as mais técnicas até as puramente estéticas.

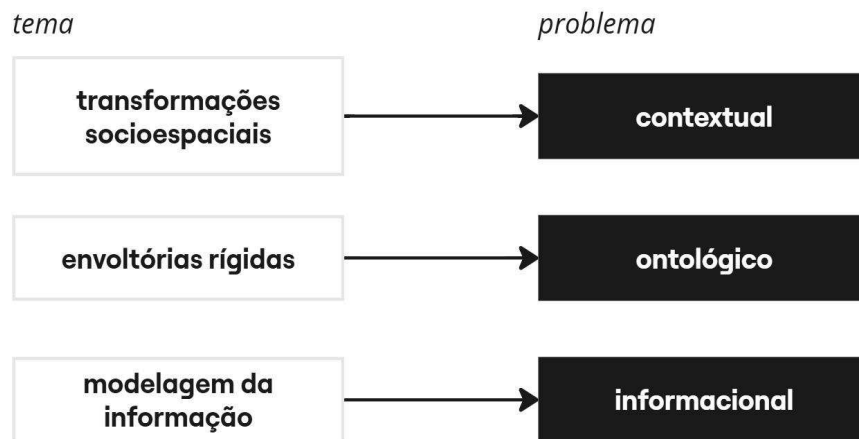
No contexto apresentado, destaca-se um elemento particularmente crucial tanto para a memória quanto para o desempenho térmico da edificação: a envoltória. Face à problemática aqui apresentada, esta natureza multidimensional da envoltória aponta para a emergência de um conceito a ser estabelecido e instanciado neste trabalho, intitulado “envoltória rígida”.

1.2 Delimitação do problema

O problema de pesquisa perpassa diferentes temáticas, abrangendo os seguintes eixos temáticos: 1) as transformações socioespaciais; 2) a preservação da identidade de edificações (o problema da envoltória rígida); 3) a representação da informação no processo de projeto.

Sendo analisado a partir de tais eixos, foram atribuídas ao problema de pesquisa naturezas correspondentes a tais temáticas. São elas: contextual, ontológica e informacional, respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Correlação de temas e naturezas do problema de pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

1.2.1 Natureza contextual do problema: transformações socioespaciais

A iminência de adaptabilidade e resiliência das edificações é um aspecto inerente à contemporaneidade, cujas transformações socioespaciais sucedem-se de forma exponencialmente mais acelerada (SIGRADI, 2023). Esta qualidade fluida do espaço urbano contemporâneo demanda das edificações um certo grau de responsividade às transformações que influenciam a produção arquitetônica, sendo estas transformações de diferentes naturezas. As paisagens urbanas têm se desenvolvido em um ambiente também em constante transformação, em se tratando, especialmente, das mudanças climáticas cada vez mais expressivas, bem como de seus impactos no ciclo de vida e uso da edificação (Lopes *et al.* 2021).

Este cenário de paisagens aceleradas aponta tanto para uma discussão acerca da flexibilidade dos espaços criados, quanto para a adaptabilidade dos espaços preexistentes. Apresenta-se, então, como aspecto do problema de pesquisa a reflexão a respeito da forma com que o espaço arquitetônico vem sendo projetado, construído e utilizado, reclamando uma revisão das práticas e soluções de projeto consolidadas, além da proposição de novas metodologias face aos paradigmas do projeto contemporâneo.

1.2.2 Natureza ontológica do problema: envoltórias rígidas

O contexto acelerado supracitado traz à tona uma face do problema de pesquisa relacionada ao conflito entre a preservação e a adaptação das edificações, tendo como premissa a existência de edificações cujo valor simbólico-imagético lhes confere um caráter imutável e detentor de memórias, o que torna imperativa uma maior restrição às alterações de projeto que possam afetar a sua imagem para a cidade (Lynch, 1960). São identificadas naturezas simultâneas e potencialmente conflitantes em um mesmo elemento da edificação, que é a envoltória: 1) função reguladora de diferentes desempenhos da edificação; 2) função consolidadora da imagem da edificação.

Em trabalho anteriormente publicado (Araújo *et al.*, 2024), é caracterizada o que intitula-se envoltória rígida:

[...] uma classe representativa de um problema que envolve edificações cujas relações entre objeto e contexto já são consolidadas, apresentando uma carga imagética que confere certo grau de rigidez às suas envoltórias, apesar de fatores externos, isto é, do ambiente, induzirem à mudança. (Araújo *et al.*, 2024, p. 262)

Portanto, a natureza ontológica do problema surge da lacuna identificada¹ na literatura no que tange à construção e aprofundamento do conceito de envoltória rígida e à identificação dos parâmetros de projeto relevantes para sua formalização e incorporação ao processo de projeto. Torna-se evidente a importância da sistematização de características que permitam descrever e avaliar este construto a partir de suas dimensões performativas, sejam simbólicas ou físicas, visando a promoção de um suporte teórico para sua operacionalização e aplicação na prática de projeto.

1.2.3 Natureza informacional do problema: modelagem da informação

Uma das questões inerentes aos momentos preliminares do projeto arquitetônico relaciona-se aos aspectos contextuais (Kalay, 1999), que envolvem, essencialmente, a relação que o objeto (espaços internos) estabelece com o ambiente

¹ Esta lacuna é explicitada no Quadro 1 (Capítulo 2).

(espaços externos). Essa relação, inicialmente estabelecida, determina muitos aspectos da edificação, desde a fase do projeto até as etapas de uso e manutenção, pelo que se observa em projetos de reforma com proposições de natureza adaptativa que lidam com uma preexistência relevante: uma consolidada relação objeto-contexto.

Quando se trata de envoltórias rígidas, essa relação é particularmente inflexível e demanda clareza no que diz respeito às restrições que rigidez atribui ao processo de projeto, bem como aos impactos que as possíveis alterações podem trazer para a imagem da edificação e para seu desempenho térmico. Sob o paradigma do projeto computacional, nota-se um potencial relativamente inexplorado da modelagem da informação no que diz respeito à representação de informações concernentes à rigidez das envoltórias, visto que a ausência desta representação pode tornar difícil a identificação dos impactos visuais e de desempenho térmico gerados por alterações de projeto de natureza adaptativa.

1.2.4 Síntese do problema

O problema de pesquisa situa-se no contexto contemporâneo marcado por transformações socioespaciais aceleradas que são potencializadas por mudanças climáticas expressivas. Diante do interesse de preservação da identidade dos edifícios, é identificada a relação antagônica entre a permanência da memória (metafísica) face à mudança (física).

Observa-se, então, uma classe de problema de projeto cujas restrições incluem o grau de rigidez quanto às possibilidades de intervenção, o que se contrapõem aos objetivos de adaptabilidade e de resiliência às possíveis crises ocasionadas no sistema da edificação, que, por sua vez, exige certa responsividade às condicionantes do ambiente.

Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de representar informações sobre as condições de permanência e identidade de edificações cujas relações objeto-contexto são bem consolidadas, que possuem o que intitulou-se “envoltória

rígida”, em vista das constantes mudanças supracitadas, notadamente no que diz respeito ao cenário contemporâneo marcado pelas mudanças climáticas.

1.3 Justificativa e estado da arte

Representando o objeto de estudo desta pesquisa, o conceito de envoltória rígida desponta da lacuna teórica identificada na Revisão Sistemática da Literatura implementada nesta pesquisa (Araújo *et al.*, 2024)², a partir do que foram elencados parâmetros que caracterizam uma envoltória rígida. O conceito de envoltória rígida é compreendido como a classe representativa de um problema que trata de edificações cujas relações com o contexto em que se insere são consolidadas, o que produz uma carga simbólico-imagética que confere certo grau de rigidez às suas envoltórias, apesar de fatores externos, isto é, do ambiente, induzirem à mudança.

Tais eventos trazem consigo uma problemática ligada à existência de edificações que apresentam valor simbólico significativo (Lynch, 2018) e, não obstante, encontram-se em um contexto urbano cuja qualidade fluida estabelece uma relação antagônica: a permanência da memória (metafísico) face à mudança (físico). (Araújo *et al.*, 2024, p. 262)

Produções como as de Carvalho, Cunha e Oliveira (2021) e Torres, Brasileiro e Silvano (2023) demonstram como o conflito de interesse supracitado decorre das funções físicas e metafísicas de uma envoltória, isto é, como a relação antagônica entre os interesses da permanência e da adaptabilidade às mudanças relacionam-se diretamente às funções reguladora e consolidadora de uma envoltória rígida, previamente abordadas. Ao perpassar a temática da eficiência energética, Carvalho, Cunha e Oliveira (2021) apontam a dificuldade de se alcançar níveis mais altos de certificações de desempenho energético em se tratando de edificações históricas.

Todavia, é difícil realizar o *retrofit* energético em edificações históricas. As ações de *retrofit* podem acarretar na perda definitiva do material histórico da envoltória, e provocar a descaracterização dos elementos arquitetônicos que tornam a edificação de relevância histórica (4). Além disso, as legislações de preservação do patrimônio histórico limitam as possibilidades de modificação na envoltória de acordo com o nível de tombamento da edificação. (Carvalho, Cunha e Oliveira, 2021, p. 55)

² A Revisão Sistemática da Literatura foi desenvolvida nesta pesquisa, sendo os seus resultados publicados no artigo intitulado “*Systemic Approach for Rigid Building Envelope Concept: permanence in face of climate changes*” (Araújo *et al.*, 2024).

Tal dificuldade discutida por Carvalho, Cunha e Oliveira (2021) relaciona-se, nas palavras dos autores, às “limitações nas possibilidades de modificações na envoltória”. Araújo *et al.* (2024) apontam que essa limitação trata-se de um aspecto inerente a uma envoltória rígida:

[...] essa pluralidade de parâmetros então percebida não necessariamente trará mais possibilidades de estados projetuais (Mitchell, 2008) e, por consequência, de variações formais. Isso se dá pelo fato de que muitos destes parâmetros, a princípio variáveis, podem atrelar-se a valores simbólicos e, na verdade, tornarem-se inflexíveis às mudanças. Por tal razão, a envoltória rígida tende a apresentar um essencialmente restrito espaço de estados, conceito definido por Burry (2011) como o alcance do potencial morfológico. (Araújo *et al.*, 2024, p. 269)

Quando investigam possibilidades de intervenções arquitetônicas para melhoria do desempenho energético do Edifício Jorge Machado Moreira, Torres, Brasileiro e Silvosso (2023) corroboram o desafio de manter a integridade da imagem do edifício e concluem que “para que as intervenções sejam bem-sucedidas, elas devem ser cuidadosamente planejadas para respeitar a memória construtiva e o valor patrimonial”. Destaca-se, assim, uma simultaneidade de funções físicas e metafísicas de uma envoltória, bem como a decorrente preocupação projetual de se conciliar os interesses possivelmente conflituais de tais funções, o que atribui uma qualidade rígida a este elemento em particular.

Outros trabalhos, que encontram-se melhor discutidos no capítulo de fundamentação teórica (Capítulo 2), propõem abordagens que exploram características isoladas da rigidez, no entanto, ainda não propondo soluções capazes de incorporar tais características ou integrá-las a métricas objetivas de desempenho. Constata-se que a literatura existente apresenta produções que abordam aspectos relacionados ao problema estudado, ainda que sem o estabelecer como conceito ou formalizá-lo em artefatos que integram suas múltiplas dimensões.

Esta lacuna teórica evidencia a necessidade da proposição do conceito de envoltória rígida e do estabelecimento dos parâmetros de projeto necessários para sua avaliação e representação em um indicador de rigidez no processo de projeto contemporâneo. Quando associada à análise de desempenho da edificação, o potencial arquitetônico atrelado a esta abordagem se expressa na associação e

visualização das diferentes forças que atuam sobre um mesmo objeto, permitindo que decisões melhor informadas sejam tomadas em sistemas e ambientes complexos.

Em vista das complexidades intrínsecas à relação entre a proposição de projeto e a sua preexistência, ou seja, dos possíveis impasses para a concepção do design arquitetônico em uma preexistência construída e em construção, destaca-se, ainda, a relevância do entendimento dos parâmetros de projeto cruciais para lidar com a rigidez no processo de projeto, bem como a necessidade de sua representação no projeto arquitetônico.

Esta necessidade de modelagem e representação de informações desta natureza tem se tornado tema central de trabalhos voltados ao conceito de HBIM (Heritage Building Information Modeling), por exemplo, os quais exploram métodos de levantamento, modelagem e representação a partir de ferramentas computacionais para sistematizar e tornar legíveis dados para preservação de edifícios históricos (Lovell, Davies e Hunt, 2023; Woodward e Heesom, 2021; Yang *et al.*, 2019; García, García-Valldecabres e Blasco, 2018; Sampaio *et al.*, 2021).

A relevância dessa temática evidencia-se ainda mais quando voltada a públicos específicos para os quais este tipo de representação se torna indispensável, a exemplo de gestores públicos, arquitetos e urbanistas, engenheiros civis e ambientais, cuja atuação depende de uma compreensão de preservação do patrimônio alinhadas às demandas contemporâneas de sustentabilidade.

A urgência desta discussão evidencia-se face ao contexto contemporâneo de transformações socioespaciais e mudanças climáticas, diante do qual a contribuição da pesquisa consolida-se com a proposição de artefatos que, ao mesmo tempo que buscam responder ao problema em estudo, produzem conhecimento sobre a classe do problema que explora.

Estes artefatos (construto: conceito de envoltória rígida e sua representação em um indicador de rigidez; modelo: *workflow*; métodos: protocolo de aplicação do indicador de rigidez e protocolo de aplicação do *workflow*; instanciação: aplicação em

estudo de caso) remontam dificuldades identificadas na interseção entre os temas da preservação e da adaptabilidade, que exigem investigações de como a manutenção da identidade das edificações pode associar-se aos objetivos de adequação às demandas contemporâneas, especialmente no que tange às mudanças climáticas.

Desta maneira, ao propor uma abordagem que visa auxiliar a tomada de decisão no processo de projeto através da representação da informação, a pesquisa apresenta potencial para fundamentar diretrizes projetuais para a adaptação de edificações com envoltória rígida, ao identificar um problema de pesquisa que considera o interesse da permanência em meio às transformações socioespaciais e climáticas.

Uma vez explicitadas informações sobre a relação objeto-ambiente do objeto arquitetônico, é possível compreender como lidar com o construído preexistente enquanto uma das restrições a serem consideradas e preservadas em projeto, bem como seu caráter determinante para o desempenho térmico de uma edificação.

Esta pesquisa justifica-se, portanto, por explorar novos caminhos conceituais e metodológicos para intervenções em edifícios com valor simbólico significativo através da proposição de artefatos que tratam das condições de permanência da edificação dos pontos de vista do desempenho (físico) e simbólico (metafísico).

1.4 Pergunta

Interessa, portanto, questionar:

Como representar informação sobre a rigidez de envoltórias para analisar os impactos que possíveis alterações podem produzir tanto para a imagem da edificação quanto para seu desempenho térmico?

1.5 Hipótese

A construção de um conjunto de artefatos que buscam viabilizar a representação da rigidez em envoltórias arquitetônicas pode fundamentar diretrizes projetuais guiadas por dados para respaldar intervenções de projeto. Em vista da natureza

quali-quantitativa dos dados relacionados a uma envoltória rígida, estes artefatos podem agregar análises qualitativas, referentes ao fator imagético, com métricas objetivas que mensuram o desempenho térmico da edificação.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo geral

Propor um mecanismo de representação de informações relativas à rigidez da envoltória em prol da análise dos impactos que alterações podem causar à imagem da edificação e ao seu desempenho para suporte à decisão.

1.6.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos aqui apresentados relacionam-se à construção dos artefatos da DSR (*Design Science Research*) a ser desenvolvida:

- Implementar revisão sistemática da literatura que baseia o **construto** envoltória rígida e sua representação formal em um indicador de rigidez;
- Elaborar um **modelo** de *workflow* que relaciona o construto envoltória rígida com os construtos BIM (*Building Information Modelling*) e desempenho térmico;
- Construir protocolos para a aplicação do indicador de rigidez e do *workflow* (**métodos**);
- Coletar dados qualitativos do Pavilhão Reitor Martins Filho para a **instanciação** dos artefatos em um estudo de caso.

1.7 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é estruturada a partir dos seguintes capítulos: 1) Introdução; 2) Fundamentação teórica; 3) Método; 4) Resultados; 5) Conclusão.

O Capítulo 1 (Introdução) subdivide-se nas principais seções: Contextualização, Delimitação do problema, Justificativa e estado da arte, Pergunta, Hipótese, Objetivos e Estrutura da dissertação. Este capítulo contextualiza o problema que originou esta pesquisa, bem como a hipótese e objetivos que a direcionam.

O Capítulo 2 (Fundamentação Teórica) subdivide-se nas principais seções: O construto, Classe de parâmetros de uma envoltória rígida e Modelagem e Design da Informação. Neste capítulo, são desenvolvidos os estudos que baseiam o construto proposto na pesquisa e a sua operacionalização.

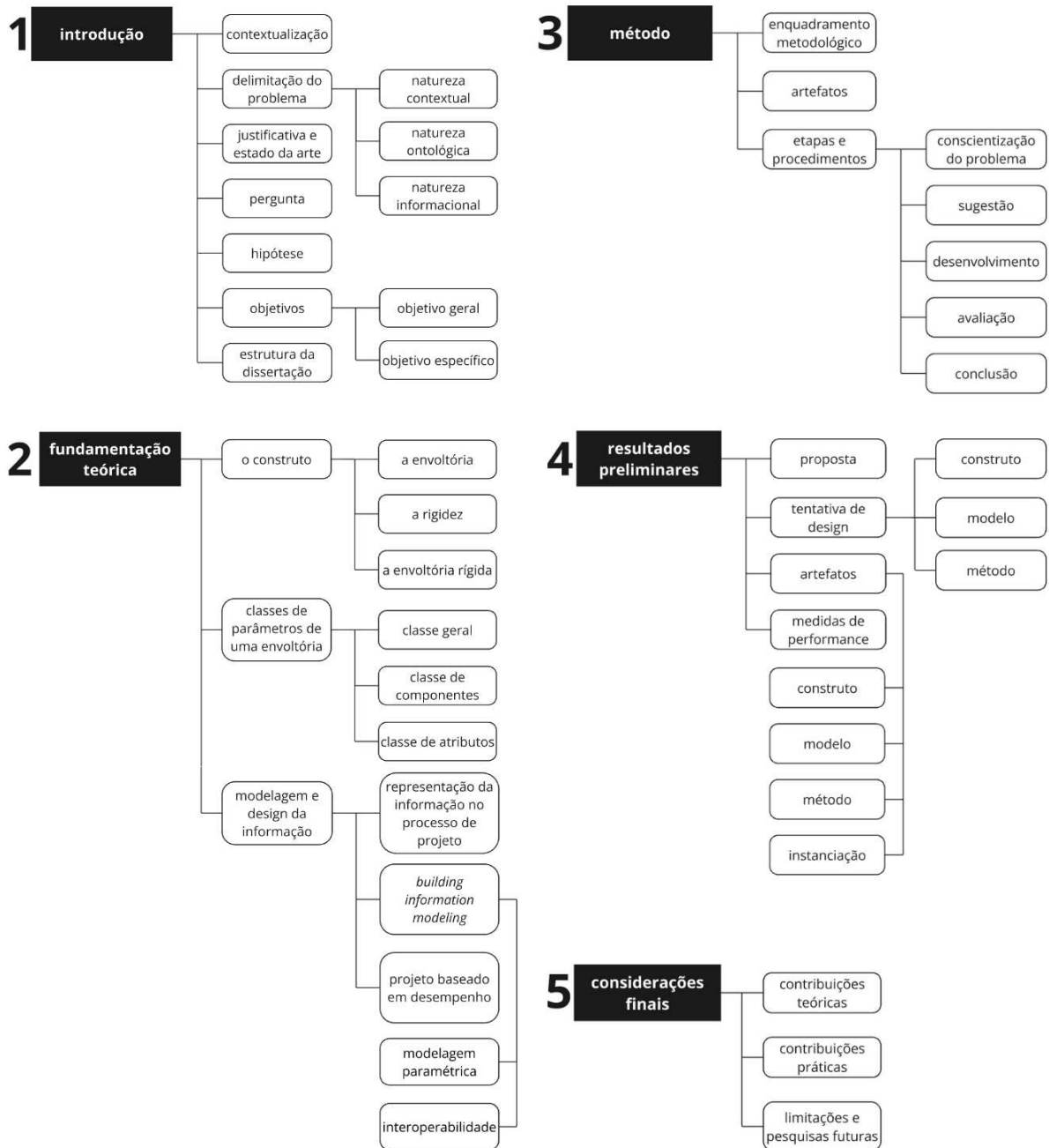
O Capítulo 3 (Metodologia) subdivide-se nas principais seções: Enquadramento metodológico, Artefatos e Etapas e Procedimentos metodológicos. Este capítulo apresenta as características da metodologia implementada, além de uma descrição dos artefatos e das atividades desenvolvidas em cada etapa de pesquisa.

O Capítulo 4 (Resultados) subdivide-se nas principais seções: Proposta, Tentativa de design, Artefatos e Medidas de performance. Neste capítulo, busca-se detalhar os produtos de cada etapa da pesquisa apresentadas no Capítulo 3.

O Capítulo 5 (Conclusão) subdivide-se nas seções: Contribuições teóricas, Contribuições práticas e Limitações e pesquisas futuras. Este capítulo elenca as contribuições de pesquisa, bem como seus potenciais e limitações a superar em pesquisas futuras.

Cada capítulo e suas respectivas seções encontram-se representados na Figura 2.

Figura 2. Estrutura da dissertação



Fonte: Elaborado pela autora.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Revisão Sistemática da Literatura, cujos procedimentos metodológicos e resultados constam em trabalho anteriormente publicado (Araújo *et al.*, 2024), buscou identificar o estado da arte da área do design da informação no que tange às temáticas do patrimônio e das mudanças climáticas.

O Quadro 1 apresenta alguns dos trabalhos analisados e seus conteúdos que, apesar de tangenciar o problema das envoltórias rígidas, não abrangem sua multidimensionalidade e, muitas vezes, abordam facetas do problema de forma isolada.

Quadro 1. Trabalhos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

<i>Autor</i>	<i>Conteúdo</i>
Adami et al. (2019)	Estudo de caso sobre HBIM como ferramenta para armazenar e gerenciar os dados relativos aos ativos do patrimônio cultural durante seu ciclo de vida.
Alsadik e Jasim (2018)	Avaliação de um método de levantamento de dados espaciais
Aytekin e IOP (2019)	Avalia a "Conservação Sustentável da Paisagem Cultural e Valores em Mudança ao Redor da Mesquita Haci Bayram e do Templo Augusto" de Ancara no contexto de "Proteção Ambiental Histórica Sustentável" ao redor do Centro Histórico de Ulus, a partir das aplicações de Regeneração Urbana e Renovação Urbana
Bartolomei et al. (2019)	Uso de fotogrametria tridimensional (com o software Metashape), como método de representação gráfica e métrica, com o objetivo de estudar os elementos que compõem a fachada da colônia Agip
Bernardo (2023)	Estuda a inovação dos elementos tecnológicos de fachadas para controlar a interação entre a luz solar e o edifício (sistemas de energia passiva)
Boukerch et al. (2016)	Relato de documentação de um monumento
Camino-Olea et al. (2019)	Avalia um método de proteção de tijolos contra água da chuva
Campostrini et al. (2018)	Avalia um método de levantamento de dados relacionados à vulnerabilidade sísmica de edifícios
Cantisani et al. (2018)	Relato de uma restauração, caracterização do material (arenito) e avaliação dos produtos utilizados

Quadro 1. Trabalhos analisados na Revisão Sistemática da Literatura de Araújo *et al.*, 2024 (continuação).

Çiçek et al. (2023)	Explora projeções distópicas de cenários pós-guerra e possibilidades de reabilitação do patrimônio danificado
de Santoli et al. (2017)	Estudo de caso, com novas soluções de sistemas de HVAC, que mostraram altos ganhos em economia de energia, mesmo se as modificações do envelope do edifício forem limitadas pela vontade de preservar os valores do patrimônio cultural
Dekeyser et al. (2013)	Estudo sobre um material de revestimento (cimorne)
Delpozzo et al. (2022)	Ainda que investigue os dados tipos de dados para alimentar um modelo HBIM, não trata diretamente de dados relacionados à envoltória
Gutiérrez-Pérez e de-Miguel-Sánchez (2023)	Estudo de caso (Capela de San Ildefonso) com coleta de dados e gestão de informações para a representação do patrimônio arquitetônico e artístico
Hamaoka et al. (2023)	Fornecer um método de análise para determinar a combinação típica entre os componentes de design exterior de moradias nepalesas, usando análise de correspondência múltipla e análise de cluster
Hoyer (1999)	Apanhado histórico de relatórios de proteção e proposição de estratégia de renovação
Indirli e Castellano (2008)	Visão geral sobre as primeiras aplicações de SMADs
Iñigo (2016)	Análise de um projeto do arquiteto Fray Loello
Kivilcim e Duran (2016)	Apresenta uma metodologia semi automatizada para modelagem de fachada 3D de ativos de patrimônio cultural com base em técnicas de modelagem paramétrica e processual e usando dados de escaneamento a laser aéreo e terrestre
Kolay (2016)	Ainda que estude conjuntos de dados para preservação e difusão, foca em pinturas artísticas em fachadas e trata do patrimônio cultural virtual, uso das novas mídias para difusão do conhecimento
Kushwah et al. (2020)	Compara o conforto térmico de um edifício histórico (Mohammad Ghaus) com o de uma residência de estilo moderno
Lasarati et al. (2023)	Investiga o impacto do uso de materiais de fachada
Lee et al. (2019)	Avalia o risco de danos às pinturas em elementos estruturais de madeira em templos históricos
Lezzerini et al. (2016)	Relata o mapeamento das pedras de uma utilizadas na construção da fachada
Makowska e IOP (2019)	Documenta as principais características dos detalhes de fachada típicos de sobrados construídos em Cracóvia no período de 1918-1939

Quadro 1. Trabalhos analisados na Revisão Sistemática da Literatura de Araújo *et al.*, 2024 (continuação).

Makris et al. (2023)	Relato de uma investigação arqueológica de um edifício (Enetiko)
Meek e Elchalakani (2019)	Explora avaliação “cradle-to-gate” de materiais de terra compactada
Nespeca e De Luca (2016)	Apesar de mostrar potencial para descrever ontologias de elementos componentes de uma envoltória, tem enfoque no desenvolvimento de um software e o estudo é feito em um fragmento pequeno de envoltória
Oktay (2021)	Examina duas casas tradicionais em Lefke que têm características de casas otomanas, com o objetivo de contribuir para a arquitetura tradicional e estudos de patrimônio cultural
Perez-Monserrat et al. (2018)	Avalia a estética do edifício entre duas operações de limpeza de fachada, no que tange a padrões de desgaste com impacto adverso em sua estética
Perini e Rosasco (2016)	Avalia a sustentabilidade econômica de dois sistemas combinados de vegetação instalados em um edifício de escritórios
Rek-Lipczynska e IOP (2019)	Apesar de apresentar possibilidades técnicas e tecnológicas aplicáveis ao desenvolvimento de fachadas de objetos arquitetônicos, não dá enfoque aos elementos que a compõem, mas aos seus materiais e técnicas construtivas
Román et al. (2019)	Apesar de mostrar potencial para descrever parâmetros de elementos componentes de uma envoltória, tem enfoque na automação do uso de laser scanner em um trecho de envoltória
Saldaña-Márquez et al. (2015)	O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade do uso de um padrão de construção (PS) através de uma ferramenta (PHPP)
Scaioni et al. (2017)	Relata a aplicação de IRT em um edifício listado como Patrimônio Cultural
Scudo e Drei (2006)	Avalia as patologias tecnológicas e estruturais de uma residência rural típica
Silvestre et al. (2010)	Apresenta uma revisão detalhada dos resultados da LCA (Life-Cycle Assessment) de mais de dez anos de estudos de pesquisa internacionais sobre o impacto ambiental das paredes externas de um edifício
Sitnik et al. (2019)	Descreve a metodologia de um processo de medição e monitoramento da condição
Torrealva et al. (2003)	Descreve os trabalhos de emergência realizados para estabilização, fortalecimento e reconstrução de torres fragilizadas por terremotos
Valach et al. (2006)	Descreve processo de medição de propriedades quantitativas de superfície de objetos arquitetônicos

Quadro 1. Trabalhos analisados na Revisão Sistemática da Literatura de Araújo *et al.*, 2024 (continuação).

Valibeig e Jahangard (2023)	Apresenta um estudo de pontes históricas
Van de Moortel et al. (2019)	Investiga as estratégias de renovação mais preferíveis para habitações sociais, considerando parâmetros como eficiência do sistema de aquecimento atual e futuro, vida útil do sistema de aquecimento e nível de isolamento do envelope do edifício
Vandervaeren et al. (2019)	Apresenta e emprega um método para uma avaliação paramétrica do ciclo de vida de elementos de construção reutilizáveis
Wysocki et al. (2022)	Apresenta o TUM-FACADE, método de enriquecimento de conjuntos de dados de nuvens de pontos para facilitar tarefas de segmentação de fachadas
Yan (2015)	Examina a prática estabelecida atual do fachadismo
Yildiz (2016)	Examina os principais problemas da arquitetura de alvenaria de um assentamento rural (Baspinar)
Zazurca et al. (2020)	Apresenta os trabalhos de reabilitação e recuperação de um edifício de Catalunha
Zhao et al. (2019)	Pesquisa sobre construção verde através de uma abordagem bibliométrica

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, para além de definições como as que delimitam as tipologias arquitetônicas por estilística, por programa de necessidades ou, ainda, por regionalidade, propõe-se aqui o estabelecimento de um construto de caráter multifacetado, buscando exprimir o fenômeno que o origina a partir de conceituações ontológicas. Tais conceituações, que não devem observar o objeto isoladamente mas, sobretudo, sua relação com o contexto de mudanças que compõe e em que reside, são construídas sob o paradigma do pensamento sistêmico. Em contraposição ao modelo atomista e ao mecanicismo cartesiano, que apresentam tendência a fragmentar os fenômenos estudados, esse paradigma procede da intitulada Teoria Geral dos Sistemas (TGS), pela qual Bertalanffy (1975) apresenta uma visão holística de mundo, onde “o foco é deslocado da constituição das entidades para a organização dos sistemas e para o conceito de interação” (Grandesso, 2000 *apud* Gomes *et al.*, 2014).

Quando defende que organismos vivos não poderiam ser observados pela termodinâmica clássica, mas alimentam e são alimentados de um fluxo de matéria e energia trocadas com o ambiente, Bertalanffy (1975) estabelece conceitos como sistemas abertos e fechados, que tornam-se, entre outros, conceitos universais aplicáveis a sistemas de qualquer natureza. Nesse sentido, a Teoria Geral dos Sistemas faz-se sustentáculo teórico fundamental para compreender e instanciar a complexa relação objeto-ambiente de uma edificação com envoltória rígida, isto é, a relação consolidada desse sistema complexo com seu ambiente.

2.1 O construto

Este capítulo trata especialmente do que considerou-se o objeto de estudo e produto teórico desta pesquisa: a envoltória rígida (construto). Não obstante corresponder a um produto da pesquisa, faz-se fundamental que o construto seja introduzido no início da discussão teórica deste trabalho, para estabelecer a base conceitual com que a pesquisa será sucedida.

É crucial, primeiramente, observar que o construto de envoltória rígida parte de dois núcleos semânticos, tornando essencial investigar cada um deles e, além disso, sua associação. Essa compreensão baseia-se na ideia de que uma envoltória rígida apresenta atributos inerentes a qualquer envoltória, bem como atributos inerentes a qualquer elemento rígido do ponto de vista imagético e projetual. Para além disso, reconhece-se que essa natureza polissêmica implica outras características particulares. Nesse sentido, são abordados de forma isolada, a princípio, os núcleos semânticos “envoltória” e “rigidez” para que, em seguida, seja analisada a sua associação no conceito de envoltória rígida.

2.1.1 A envoltória

O núcleo semântico “envoltória” pode associar-se a uma ideia primeira de “membrana” ou “casca” que toca o exterior de uma edificação. Fontes como os manuais RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) e INI-C (Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência) trazem definições geométricas bem definidas e

reforçam a função reguladora da envoltória no que diz respeito aos diferentes desempenhos da edificação. A envoltória é estabelecida, nestas definições, como “o conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior”, correspondendo aos fechamentos que delimitam as separações entre os ambientes internos e externos (ELETROBRÁS/PROCEL, INMETRO, 2017; ELETROBRÁS/PROCEL, INMETRO e CB3E 2022).

Esta definição de envoltória independe da materialidade ou função dos elementos que compõem a edificação, compreendendo quaisquer elementos que estejam acima do solo e em contato com o meio externo ou com outro edifício. Isto significa dizer que elementos como pisos e paredes que estejam em contato com o solo, como em ambientes situados no subsolo, não são considerados para definição geométrica e cálculo da área da envoltória (Aenv.) (ELETROBRÁS/PROCEL, INMETRO, 2017). Por exemplo, em edifícios construídos sobre pilotis, o piso do primeiro pavimento, uma vez exposto ao ambiente externo, é considerado parte da envoltória. Por sua vez, elementos de contenção não devem ser considerados.

Mais especificadamente, Pirró (2023) afirma que a envoltória se trata de um elemento arquitetônico passivo que separa e, simultaneamente, relaciona o edifício com o meio externo, o que a atribui a função de controlar ganhos e perdas de calor, quantidade de luz natural e ventilação. Essa passividade corrobora a importância do caráter regulador da envoltória enquanto sistema aberto, uma vez que estes “transacionam com o meio ambiente” (Pizza Junior, 1986).

Propriedade inerente aos sistemas abertos, tal relação mutuamente estabelecida com o ambiente pode ser observada no sistema edificação, que, como qualquer sistema aberto, recebe e responde a estímulos, se alimentando continuamente de matéria e energia extraídas e devolvidas ao ambiente (Bertalanffy, 1975). A envoltória, enquanto subsistema da edificação, intermedeia a relação objeto-ambiente e determina a forma e intensidade com que será sucedida a comunicação entre os ambientes internos e externos, regulando as retroalimentações intituladas *feedback*, que “podem ser positivas ou negativas,

criando assim uma autorregulação regenerativa, que, por sua vez, cria novas propriedades [...]” (Gomes *et al.*, 2014).

A respeito do conceito de sistema aberto, vital para a aplicação da Teoria Geral de Sistemas às organizações, afirma Buckley: "O fato de um sistema ser aberto significa não apenas que ele se empenha em intercâmbios com o meio, mas também que esse intercâmbio é um fator essencial, que lhe sustenta a viabilidade, a capacidade reprodutiva ou continuidade e a capacidade de mudar". (Pizza Junior, 1986, p. 78)

Produções como as de Tambosi e Hackenberg (2020), Oliveira e Lunardi (2018), Dalbem *et al.* (2016), Matheus *et al.* (2016) e Krüger e Mori (2012) investigam e consolidam a relevância e influência da envoltória para a eficiência energética e para o desempenho térmico da edificação. Particularmente, Oliveira e Lunardi (2018) exploram características arquitetônicas e construtivas da envoltória para analisar sua influência no consumo de eletricidade em edificações institucionais. Com este objetivo, exploram fatores como:

[...] o formato da edificação, posicionamento de elementos transparentes como janelas e portas e de elementos de sombreamento em relação à orientação cardinal das fachadas, disposição e tipo de uso dos ambientes e propriedades térmicas dos materiais especificados. (Oliveira e Lunardi, 2018, p. 277-278)

Fatores como estes são especialmente relevantes para indicar os desempenhos energético e térmico da edificação. Quanto ao desempenho energético, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), regulada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e coordenada pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), é um programa de etiquetagem amplamente difundido nas áreas que investigam a eficiência energética de edificações, de equipamentos eletrodomésticos e de sistemas de iluminação. O Manual RTQ-C estabelece as avaliações técnicas que são requisitos para a obtenção da ENCE de uma edificação, seja ela parcial ou geral. A Avaliação da Envoltória é apresentada, neste manual, como única e especialmente obrigatória para gerar uma ENCE, sendo necessariamente realizada para o edifício como um todo, o que reforça o papel determinante da envoltória para o desempenho energético da edificação.

O método de determinação da eficiência da envoltória é baseado no Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), obtido através de uma equação que varia de acordo

com as Zonas Bioclimáticas estabelecidas no zoneamento bioclimático brasileiro, como observa-se na NBR 15220-3:2005. O cálculo para obtenção do IC_{env} de uma edificação envolve dados relacionados às suas características físicas e construtivas, isto é, os parâmetros de projeto do edifício. São eles: área de projeção do edifício (m^2); área total construída (m^2); área da envoltória (m^2); área de projeção da cobertura (m^2); ângulo vertical de sombreamento; ângulo horizontal de sombreamento; fator de forma (área da envoltória/volume total da edificação); fator altura, (área de projeção da cobertura/área total construída); fator solar; percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação); volume total da edificação (m^3) (ELETROBRÁS/PROCEL, INMETRO, 2017).

Quanto ao desempenho térmico da envoltória, que é o aspecto sobre o que aprofundou-se esta pesquisa, Frota e Schiffer (2007) defendem que, dos vários métodos de cálculo de previsão de desempenho térmico existentes, é considerado mais aplicável o método intitulado C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - de Paris*), uma vez que “se baseia em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível no que tange às características dos materiais”.

No caso de conforto térmico de inverno, são consideradas apenas as perdas térmicas, já que a temperatura interna desejável no edifício é sempre superior à temperatura do ar exterior, mesmo em termos de temperaturas médias. No caso de conforto térmico de verão, faz-se um balanço térmico sobre hipóteses montadas acerca do que sejam os ganhos e do que sejam as perdas e são consideradas trocas por diferença de temperatura e ganhos devidos à incidência da radiação solar. (Frota e Schiffer, 2007, p. 139-140)

Para a análise do conforto térmico de verão, o método C.S.T.B. parte da premissa de que “todas as equações de trocas térmicas são lineares e de que os coeficientes são constantes e, ainda, que a renovação do ar é constante” (Frota e Schiffer, 2007). Frota e Schiffer (2007) esclarecem, ainda, que este método baseia-se em uma condição de regime térmico permanente e “propõe calcular a temperatura do ar de local não climatizado artificialmente, considerando-o sujeito a um regime térmico permanente”.

Os cálculos para esta análise consideram que uma edificação dispõe de uma “diversidade de materiais, espessuras, cores e áreas em sua envoltória” (Frota e

Schiffer, 2007), sendo representados pelas seguintes equações para, respectivamente, materiais opacos (I) e translúcidos (II):

$$\text{I.} \quad \mathbf{Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot (K / h_e) \cdot I_g \quad (W)}$$

Onde:

Q_{op} = Quantidade de calor (ou energia térmica) transmitida pela superfície opaca (parede ou cobertura) da edificação. A unidade é geralmente expressa em Watts (W).

A_{op} = Área da superfície opaca da edificação que está exposta à radiação solar ou ao ambiente externo. É expressa em metros quadrados (m^2)

α = Absorvidade da superfície opaca, que é a fração de radiação solar incidente absorvida pelo material. O valor varia entre 0 e 1, dependendo da cor da superfície (adimensional).

K = Coeficiente de transmissão térmica (ou condutância térmica) da superfície opaca. Representa a quantidade de calor transferida por unidade de área para uma diferença de temperatura de 1 Kelvin entre os lados da superfície.

h_e = Coeficiente de troca térmica convectiva na superfície externa da envoltória, que considera os efeitos do vento e da convecção. É expresso em W/m^2K .

I_g = irradiação solar global incidente na superfície opaca. Representa a quantidade de energia solar por unidade de área (W/m^2).

$$\text{II.} \quad \mathbf{Q_{tr} = A_{tr} \cdot S_{tr} \cdot I_g \quad (W)}$$

Onde:

Q_{tr} = Quantidade de calor (ou energia térmica) transmitida através de superfícies translúcidas, como janelas de vidro ou outras superfícies transparentes. É expressa em Watts (W).

A_{tr} = Área da superfície translúcida (geralmente janelas ou claraboias). Representa a área exposta à radiação solar direta e é medida em metros quadrados (m^2).

S_{tr} = Fator de transmissão solar da superfície translúcida. Indica a fração da radiação solar incidente que atravessa o material (também conhecido como coeficiente de ganho solar). Varia de 0 a 1, dependendo das propriedades do material (adimensional).

I_g = Irradiação solar global incidente na superfície translúcida. Representa a quantidade de energia solar recebida por unidade de área (W/m^2).

Frota e Schiffer (2007) apontam que as variáveis utilizadas nos cálculos, com exceção apenas da irradiação solar global (I_g), “são determinadas no projeto”. É possível considerar, ainda, que algumas decisões de projeto podem regular indiretamente a forma com que a edificação recebe irradiação solar global: a exemplo da própria implantação do edifício analisado; da implantação de edifícios no entorno que podem gerar sombras sobre o primeiro; do projeto paisagístico, que pode compor-se de vegetação de grande porte.

A asserção de Frota e Schiffer (2007) corrobora-se em trabalhos como os de Costa, Silva e Neto (2020), Kuwahara, Carvalho e Silva (2018) e Omena *et al.*, (2016), quando utilizam-se de parâmetros de projeto para analisar o desempenho térmico nos estudos de caso que implementam.

Faz-se propício, então, o aprofundamento dos estudos na análise do conforto térmico de verão diante do aumento das temperaturas médias globais associado às mudanças climáticas, o que foi identificado no problema contextual desta pesquisa e reforça a importância de se avaliar o desempenho térmico das envoltórias no período do verão. Portanto, a avaliação dos artefatos produzidos nesta pesquisa é implementada em um caso propício para investigar a análise do conforto térmico de verão, localizando-se em uma zona climática de baixa amplitude térmica anual, isto é, cuja diferença das temperaturas ao longo do ano é reduzida.

2.1.2 A rigidez

O termo “rigidez”, em sua amplitude, atrela-se à qualidade do que é inflexível (Michaelis, 2024). Sob o paradigma da Teoria Geral dos Sistemas, este caráter inflexível pode expressar-se como uma propriedade sistêmica que gera uma limitação na capacidade de adaptação do sistema face às mudanças nos fatores do ambiente em que reside.

À vista dessa perspectiva, é possível entender como a rigidez de um sistema influencia seu comportamento, partindo da classificação em sistemas fechados e sistemas abertos. Em sistemas ditos fechados, uma vez que “não transacionam com o meio ambiente” (Pizza Junior, 1986), a propriedade sistêmica de rigidez é inerente à natureza não comunicativa que assim o classifica, sendo indicativo do baixo grau de adaptabilidade. Em sistemas abertos, “que transacionam com o meio ambiente” (Pizza Junior, 1986), a rigidez pode relacionar-se de forma inversa ao processo de homeostase, pelo qual “os sistemas tendem a adaptar-se e sobreviver em épocas de crise” (Pizza Junior, 1986).

Partindo do entendimento de que a edificação é um sistema aberto cuja rigidez restringe sua capacidade de adaptação, neste trabalho, a terminologia “rigidez” remonta a ideia de inflexibilidade em dois contextos: a rigidez na imagem e a rigidez no projeto. Quanto à imagem, Lynch (1960) a define a partir de três componentes essenciais:

Uma imagem do meio ambiente pode ser analisada em três componentes: identidade, estrutura e significado. Será útil imaginá-las num plano abstracto, com o fim de as analisar, pois, na realidade, estas três componentes aparecem juntas. Uma imagem viável requer, em primeiro lugar, a identificação de um objecto, o que implica a sua distinção de outras coisas, o seu reconhecimento como uma entidade separável. Falamos de identidade, mas não no sentido de igualdade com outra coisa qualquer, mas significando individualidade ou particularidade. Em segundo lugar, a imagem tem de incluir a relação estrutural ou espacial do objecto com o observador e com os outros objectos. Em último lugar, este objecto tem de ter para o observador um significado quer prático quer emocional. Isto significa que existe também uma relação, mas uma relação diferente da espacial ou estrutural. (Lynch, 1960, p. 18)

Cada um destes componentes estabelecidos por Lynch (1960) presume a existência de um sujeito para a construção da imagem, uma vez que, segundo o autor,

é a partir da relação bilateral que este sujeito estabelece com o meio ambiente que a imagem se consolida.

As imagens do meio ambiente são o resultado de um processo bilateral entre o observador e o meio. O meio ambiente sugere distinções e relações, e o observador - com grande adaptação e à luz dos seus objectivos próprios - selecciona, organiza e dota de sentido aquilo que vê. (Lynch, 1960, p. 16)

Rheingantz *et al.* (2009) afirma que, para Lynch, “imageabilidade é a capacidade de percepção da cidade através de elementos físicos”. Do ponto de vista da semiótica peirceana, o processo de construção dessa imagem pode ser compreendido pela relação triádica entre o signo (qualquer coisa determinada por um objeto), o objeto (a que o signo se refere) e o interpretante (efeito gerado na mente) (Ibri, 1996). Tal visão sobre essa construção, conforme explica Nöth (1998), parte da premissa de que “as cognições, as idéias e até o homem são essencialmente entidades semióticas. Como um signo, uma idéia também se refere a outras idéias e objetos do mundo”.

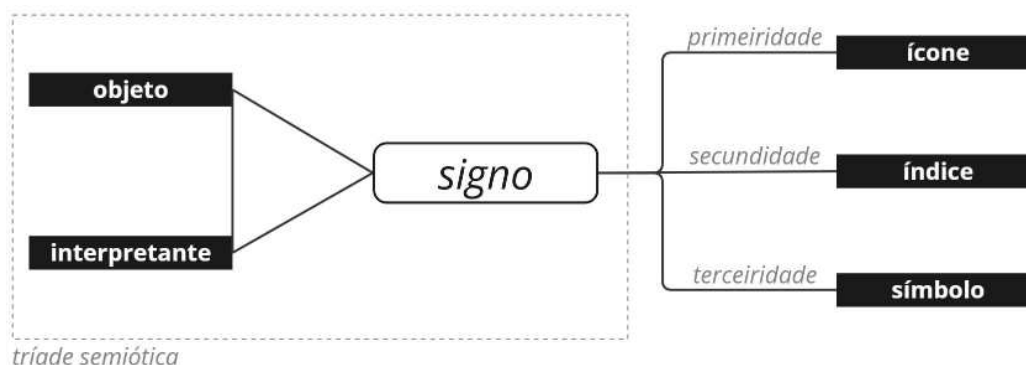
O homem denota qualquer objeto de sua atenção num momento dado. Conota o que conhece ou sente sobre o objeto e é também a encarnação desta forma ou espécie inteligível; o seu interpretante é a memória futura dessa cognição [...] (Nöth, 1998, p. 61-62)

Nöth (1998) elucida que a fenomenologia peirceana apresenta três categorias universais, em suas traduções, “primeiridade, secundidade e terceiridade”:

Primeiridade é a categoria do sentimento imediato e presente das coisas, sem nenhuma relação com outros fenômenos do mundo. Na definição de Peirce, “primeiridade é o modo de ser daquilo que é tal como é, positivamente e sem referência a outra coisa qualquer” (CP, 8.328). [...] Secundidade começa quando um fenômeno primeiro é relacionado a um segundo fenômeno qualquer (CP, 1.356-359). É a categoria da comparação, da ação, do fato, da realidade e da experiência no tempo e no espaço [...] Terceiridade é a categoria que relaciona um fenômeno segundo a um terceiro (CP, 1.337/ss): “É a categoria da mediação, do hábito, da memória, da continuidade, da síntese, da comunicação, da representação, da semiose e dos signos”. (Nöth, 1998, p. 64)

Tendo como referencial o objeto da tríade semiótica, a classificação peirceana dos signos apresenta um tipo para cada categoria universal: ícone (primeiridade), índice (secundidade) e símbolo (terceiridade) (Nöth, 1998) (Figura 3).

Figura 3. Tríade semiótica e classificação peirceana dos signos



Fonte: Elaborado pela autora.

A imagem da qual a construção é aqui discutida corresponde ao signo do tipo símbolo, uma vez que este, pertencendo à categoria da terceiraidade, exprime uma rigidez que se baseia na convenção e na memória.

A relação entre *representamen* e objeto é arbitrária e depende de convenções sociais. São, portanto, categorias da terceiraidade como o hábito, a regra, a lei e a memória que se situam na relação entre *representamen*[signo] e objeto. Na definição peirceana, "um símbolo é um signo que se refere ao objeto que denota, em virtude de uma lei, normalmente uma associação de idéias gerais" (CP, 2.449). (Nöth, 1998, p. 83)

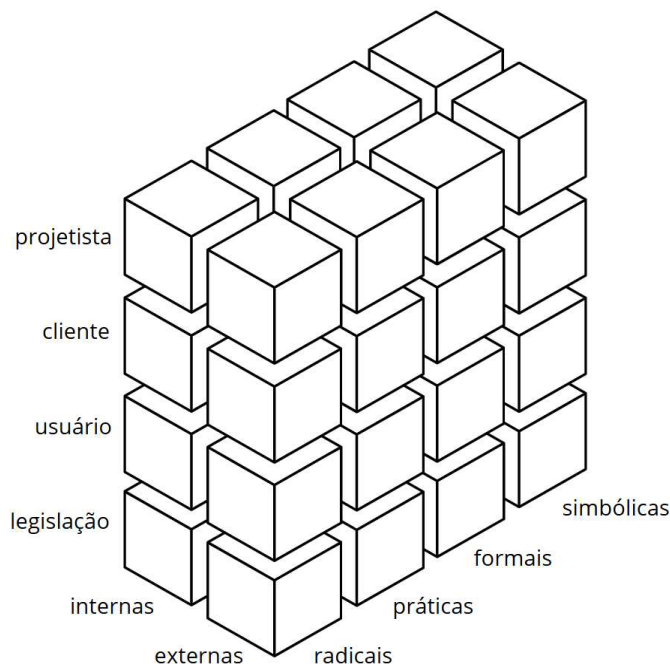
Percebe-se que o processo semiótico da construção da imagem e consolidação da sua rigidez compreende, para além da relação com o sujeito, como evidenciado por Lynch (1960), a relação com uma coletividade. Assim, essa rigidez da imagem, tendo origem em uma memória coletiva, trata-se de um fator de manutenção de identidade e de significado ao longo do tempo.

Nesse contexto, infere-se que a rigidez na imagem pode significar um interesse da preservação desta e implica restrições no processo de projeto, referindo-se, aqui, à rigidez no projeto.

Kowaltowski *et al.* (2011) destacam diferentes restrições de projeto, revelando uma complexidade potencial em função das muitas variáveis que compõem um problema de projeto. Segundo os autores, o processo de projeto varia de acordo com as restrições impostas: as restrições da natureza do programa de necessidades, do problema de projeto e do contexto em que se insere, das necessidades do cliente,

do público-alvo, entre outras. Em seu modelo de projeto, Lawson (2011) concebe categorias para restrições de projeto (Figura 4).

Figura 4. Restrições de projeto no modelo projetual de Lawson.



Fonte: Adaptado de Lawson (2011).

Sobre estas categorias, Santos (2014) elucida:

Quanto à função assumida no processo de projeto, as restrições são definidas como radicais, práticas, formais e simbólicas. As radicais dizem respeito à diretriz que orienta o projeto desde o início – por exemplo, no caso de uma escola, o sistema educativo a ser implantado representa esse tipo de restrição (LAWSON, 2011). As restrições práticas se referem aos aspectos tecnológicos que condicionam a construção do edifício e o seu desempenho pós-ocupação. As formais definem as qualidades plásticas do objeto e incluem cores, texturas, proporções, modulações etc. E, por fim, as restrições simbólicas têm a ver com os significados/conteúdos simbólicos que podem (ou não) nortear o processo (LAWSON, 2011). (Santos, 2014, p. 23-24)

A rigidez de projeto advinda da rigidez na imagem envolve restrições de projeto enquadradas nos tipos simbólicas e formais, visto que são categorias que encontram-se intimamente relacionadas ao interesse de preservação dos valores simbólico-imagéticos da edificação. Essa rigidez pode, assim como quaisquer restrições de projeto, conflitar com outras restrições do tipo práticas e radicais, que

reclamam adequação a aspectos naturalmente funcionais (tecnológicos ou do programa de necessidades).

Tal relação de forças potencialmente conflitantes apresenta reflexo no processo de projeto, uma vez que o objeto arquitetônico, em qualquer ambiente de concepção que seja, o que Mitchell (2008) intitula “mundo projetual”, encontra-se em um campo abstrato, em que está sujeito a diferentes forças de atração que, conforme atuam sobre este, o moldam para melhor adequar-se ao seu respectivo objetivo.

Essa complexidade do conjunto de coeficientes que determina uma solução projetual de arquitetura e design é evidenciada por Lawson (2011), ao apontar que o processo que a resulta envolve restrições mais ou menos flexíveis e não se sucede por etapas preestabelecidas. Neste processo que se distancia de uma ordem exata de etapas, estas restrições podem não apresentar-se de forma explícita, de modo que as decisões sejam orientadas, sobretudo, em função da percepção e subjeção do projetista ou grupo de projetistas.

[...] o processamento do sistema, isto é, tudo o que se passa entre as unidades de input e de output e que não é possível definir a priori; característica dos sistemas abertos. (Pizza Junior, 1986, P. 78)

Diante disso, a representação das informações de projeto torna-se um recurso fundamental para organização do pensamento, ou, na perspectiva de Lawson (2011), “produtos básicos do processo de pensar”. Com efeito, o modelo de projeto proposto por Lawson (2011) apresenta características do “pensamento ao projetar”, isto é, o conjunto de habilidades inerentes ao exercício projetual. Entre estas habilidades, está a representação.

Na verdade, os projetistas costumam ser caracterizados pelo uso habitual dessas atividades [de representação]. Desenham, escrevem, modelam, fazem e calculam representações das ideias incipientes do projeto em que estão trabalhando. Também rearranjam e representam para si as informações sobre o programa ou o problema. (Lawson, 2011, p. 269-270)

Por esta razão, a representação surge como um artifício de tradução intersemiótica dos objetos “rigidez na imagem” e “rigidez no projeto” para os sistemas de ambientes projetuais. Este tipo de representação busca comunicar as restrições

do tipo simbólicas e formais que devem balizar as decisões projetuais em projetos de edificações caracterizadas por um determinado grau de rigidez.

Ao discutir o método de análise da estrutura perceptiva do objeto do ponto de vista da Teoria da Gestalt, Gomes Filho (2008) apresenta uma possível resposta para a representação da rigidez da imagem e seu rebatimento no projeto como grau de restrição:

A leitura tridimensional deve ser feita por partes. Isto é, deve contemplar cada uma das vistas estudadas (exatamente como nos exemplos anteriores de leitura), com a atribuição de seus respectivos índices de pregnâncias. A interpretação conclusiva do objeto, como um todo, deve ser feita em seguida por meio da média dos índices das pregnâncias parciais. Por exemplo: se a leitura de um objeto de três faces obtiver nos estudos parciais índices de pregnâncias igual a 6, 7 e 8, respectivamente, a pregnância do objeto, como um todo, será igual a soma de $6+7+8$ dividido por 3. Ou seja, alcançaria uma pregnância média final de índice 7. (Gomes Filho, 2008, p. 123)

Diante do exposto, é possível inferir o potencial de representação da rigidez no processo de projeto, dado que trata-se de uma propriedade sistêmica determinante para a manutenção da identidade simbólico-imagética de um objeto arquitetônico.

2.1.3 A envoltória rígida

Importa, antes de tudo, destacar que o conceito de envoltória rígida a ser apresentado não corresponde unicamente a uma definição geométrica de um elemento da edificação, diferenciando-se de outros termos consolidados como “pele”, “superfície”, “fachada” ou, mesmo, do termo “envoltória” previamente estudado neste trabalho. Nada obstante os termos mencionados apresentarem uma possível comunalidade com alguns elementos de composição de uma envoltória rígida, se distinguem em sua abrangência conceitual.

O conceito de pele é usualmente abordado de forma mais abrangente para referir-se à camada externa da edificação, ou da própria envoltória, que interage com o ambiente (Agkathidis, 2015; Kanaani e Kopec, 2016; Leatherbarrow, 2009), podendo corresponder a uma camada específica de fechamento da envoltória.

A envoltória da edificação pode atuar como uma parte “viva” da edificação — sua “pele”, uma membrana semipermeável que faz a mediação entre a edificação e o ambiente. É uma camada — ou mais precisamente um conjunto de camadas — onde arquitetura e engenharia ambiental se cruzam como disciplinas. (Kanaani e Kopec, 2016, p. 225, tradução nossa)

Frota (2004) aborda os conceitos de “superfície” e “fachada”, explorando-os no contexto da geometria da insolação sob uma perspectiva particularmente técnica. Quando aborda o termo “superfície”, refere-se a uma noção mais ampla do conceito ao propor estudos de como diferentes planos horizontais ou verticais interagem com a luz solar. Mais contextualizado na realidade construída, o termo “fachada” é compreendido pela autora como uma superfície tipicamente vertical cuja orientação cardinal afeta seus desempenhos térmico e energético.

Em contrapartida, o conceito de envoltória rígida aqui proposto consiste, na verdade, em um fenômeno resultante das forças de mudança e de permanência que coexistem na edificação. Nesse sentido, a envoltória rígida apresenta implicações no processo de projeto, remontando discussões que abrangem temáticas do campo da Teoria do Projeto e que dialogam diretamente com conceitos previamente apresentados, como as restrições de projeto ou, ainda, com contrapontos como a adaptabilidade, a responsividade e a resiliência.

Isto decorre do fato de que, enquanto fenômeno, a envoltória rígida apresenta profunda relação com os seguintes pressupostos causais:

- 1) As transformações socioespaciais que ocorrem em função das mudanças de usos, formas e significados atribuídos ao espaço arquitetônico, como reflexo das dinâmicas socioculturais e as condicionantes físicas inerentes a este;
- 2) O interesse de manutenção da expressão patrimonial e histórica da edificação.

Conforme discutido em seções anteriores, a envoltória, em particular, é identificada como um elemento arquitetônico notadamente determinante e, ao mesmo tempo, intermediador dessa relação entre objeto (edificação) e ambiente

(entorno). A envoltória, enquanto subsistema da edificação, pode ser compreendida como principal mediador das interações entre os espaços internos e o entorno, operando como agente de controle e tradução dos fluxos de informações de quaisquer naturezas (física ou metafísica). Por este motivo, é possível inferir que os campos físico e metafísico, que despontam de uma mesma relação objeto-ambiente, atribuem à envoltória funções de semelhante natureza: função reguladora das trocas de matéria e energia (física) e função consolidadora da imagem (metafísica).

No que tange à sua função física de regular a comunicação com as condicionantes do ambiente, a envoltória apresenta um papel especialmente relevante para uma das principais questões do projeto contemporâneo: as mudanças climáticas (Pisani, Villac e Lima 2023; Defo e Lacasse, 2021).

No cenário contemporâneo, à medida que os impactos das mudanças climáticas se intensificam, mais notoriamente se apresenta a emergência da discussão acerca da forma com que vem sendo projetado, construído e utilizado o espaço arquitetônico, além da necessidade de se considerar as condições de permanência de uma preexistência construída face a estas mudanças.

Esta interseção entre as mudanças climáticas e a produção de arquitetura leva não apenas a um questionamento voltado aos métodos de projeto, como também conduz a repensar o papel da arquitetura, enquanto produtora de interfaces e potencial catalisadora de mudanças positivas em direção a soluções de projeto mais resilientes e ecologicamente equilibradas. Nesse contexto, Frazer (2011) enfatiza a importância do pensamento sistêmico ao defender que a solução para os problemas ambientais pode residir na relação da arquitetura com uma compreensão holística da estrutura da natureza, propondo que os sistemas arquitetônicos sejam responsivos ao ambiente real e evoluam em consonância aos processos naturais.

Do objeto arquitetônico, desvencilha-se, então, uma qualidade inerte e é atribuída uma adaptativa, que advém da relação simbiótica que estabelece com o meio natural. Em contemplando este objeto arquitetônico em um contexto de contínua adaptação, a envoltória mostra-se como uma membrana ativa e

determinante para a responsividade às demandas externas. Em razão disso, a transição de um caráter inerte para adaptativo da edificação é atrelada, também e principalmente, à envoltória.

Nada obstante, a rigidez da imagem de uma envoltória não significa o isolamento do sistema, mas a inflexibilidade às possíveis mudanças na membrana deste sistema, o que suscita o interesse na preservação das características de identidade enquanto permite, ainda, a troca de informações entre o sistema e o ambiente.

O futuro das peles dinâmicas das edificações provavelmente pertencerá aos sistemas de baixa energia que podem coletar o calor do sol ou a energia cinética do vento. Em vários experimentos descritos nessa seção, as capacidades de “detecção” e “atuação” foram incorporadas ao material, eliminando a necessidade de montagens mecatrônicas complexas. Tais sistemas passivos de ativação dinâmica que dependem de propriedades intrínsecas de materiais são talvez a direção mais promissora para desenvolver envoltórias adaptáveis de edificações. (Kanaani e Kopec, 2016, p. 234, tradução nossa)

Jakob von Uexküll apresenta a noção de membrana em sua teoria de mundo-próprio, pela qual estabelece o conceito de *umwelt*, em sua tradução literal do alemão, “ambiente”. Em sua tese, Uexküll (1982) postula *umwelt* para referir-se ao “mundo sensorial” dos organismos, ao afastar-se de uma compreensão cibernética de mundo e aderir ao ponto de vista de que “a Natureza é composta não de organismos vivos que são apenas objetos, mas que são sujeitos que assinalam, significam e atuam no mundo” (Souza, 2012). Este conceito pode ser entendido, portanto, como a “maneira particular de perceber a realidade e adaptar-se à permanência” (Vieira, 2007).

Umwelt vem da palavra alemã para “ambiente”, mas Uexküll não a utilizou simplesmente para se referir ao entorno de um animal. Ao invés disso, Umwelt é especificamente a parte desses entornos que um animal pode sentir e experimentar — seu mundo perceptivo. (Young, 2022, p. 10, tradução nossa)

Como elucidada Souza (2012), o termo é empregado por Jakob von Uexküll no sentido de qualquer aspecto que, em função de um dado organismo, “resulta de uma como que seleção por esta realizada, dentre todos os elementos do ambiente, em virtude da sua própria estrutura específica”. À vista dessa definição, é possível inferir

uma função particular de um *umwelt*: filtrar as informações do mundo externo para o organismo com base em suas capacidades sensoriais.

Considerando a edificação como esta “mente” capaz de perceber e responder a estímulos, o conceito de *umwelt* pode relacionar-se ao de envoltória à medida que ambos representam uma interface de comunicação interior-exterior que, ao mesmo tempo, define os limites de interação e possibilita troca de informações para adaptação em prol da permanência.

Estas similaridades tornam-se notórias com a comparação que Uexküll (1982) estabelece entre organismos e edificações, ainda que de forma metafórica:

Uexküll comparou o corpo de um animal a uma casa. “Cada casa tem um número de janelas”, ele escreveu, “que abrem para um jardim: uma janela de luz, uma janela de som, uma janela olfativa, uma janela de paladar, e um grande número de janelas táteis. Dependendo da maneira como essas janelas são construídas, o jardim muda conforme é visto da casa. De forma alguma ele aparece como uma seção de um mundo maior. Em vez disso, é o único mundo que pertence à casa – seu [Umwelt]. O jardim que aparece à nossa vista é fundamentalmente diferente daquele que se apresenta aos habitantes da casa. (Young, 2022, p. 11, tradução nossa)

Desse modo, nota-se que a envoltória, semelhantemente ao *umwelt* de um organismo, tem um papel determinante para o modo com que o ambiente interno percebe e relaciona-se com o externo, a partir de uma mediação seletiva das interações com ambiente complexo ao permitir ou obstaculizar fluxos de informação do mundo externo.

Vieira (2007) aborda a possibilidade do que chama de “dilatação do *umwelt*”, a partir do que é sucedida uma ampliação dos limites sensoriais que potencializou o avanço do conhecimento no domínio das ciências observacionais. Essa dilatação, que objetiva amplificar ou modificar o modo de captação de informações, torna-se pouco viável para edificações com envoltória rígida. Isto decorre do fato de que alterações no modo com que a edificação relaciona-se com ambientes externos pode implicar descaracterizações físicas sobretudo e diretamente na envoltória, o que produz uma espécie de “*umwelt* rígido”.

Este paralelismo entre os conceitos de envoltória e *umwelt* enfatiza as funções reguladora (física) e consolidadora (metafísica) de uma envoltória rígida e seus reflexos para a sobrevivência funcional e estética da arquitetura no tempo. Por isso, estas funções fazem-se determinantes para a adaptação e, portanto, para a evolução do sistema edificação. A necessidade de um caráter adaptativo emerge como resposta às pressões do ambiente, reclamando a capacidade de ajustar-se às mudanças contextuais.

Esta questão da adaptabilidade dialoga diretamente com o conceito de processo evolutivo, do qual a continuidade e transformações dependem imediatamente da capacidade de responsividade e reorganização dos organismos. O processo evolutivo de uma envoltória rígida ocorre para além de sua materialidade, na verdade, abrange a incorporação dos novos significados e funções que podem ser atribuídos à edificação, seja por meio de soluções técnicas ou por ressignificações simbólicas, o que evidencia como o projeto arquitetônico é inerentemente evolutivo.

Vieira (2000) estabelece a permanência como parâmetro sistêmico imanente a qualquer sistema. Os sistemas tendem, assim, a permanecer e durar no tempo e, para isso, precisam estar sensíveis aos estímulos sob os quais seus ambientes os sujeitam. Para sua “sobrevivência”, os sistemas absorvem aspectos externos do meio para mudar sua organização, isto é, podendo transformar-se por efeito de fatores morfogenéticos. Este processo morfogenético é um processo oposto à homeostase, ou seja, é a característica dos sistemas abertos de absorver os aspectos externos do meio e mudar sua organização (Gomes *et al.*, 2014). Por isso, a morfogênese trata-se de um processo de diferenciação progressiva, ou seja, um processo de especialização e diversificação de uma estrutura, órgão ou função em um organismo. Tal diferenciação, que determina os processos físicos da forma emergente, é apresentada por Trummer (2011) pelo termo *unfolding*, processo pelo qual o organismo descobre e se desdobra em tecidos e órgãos diferenciados. Isso implica a intensificação da complexidade na organização de um sistema, por ser diretamente proporcional à diversidade, sendo esta última concernente ao quanto os elementos se diferenciam em tipos (Vieira, 2000).

Quando relacionado ao campo da arquitetura, esse pensamento torna possível entender o conjunto de primitivas arquitetônicas como um sistema dinâmico, do qual o processo de diferenciação que se insere entre as restrições das primitivas arquitetônicas e os fatores externos que determinam a negociação entre elas. O conceito de BIM (*Building Information Modelling*), a ser melhor discutido na seção 2.3.2 deste trabalho, estabelece relação com esta ideia sistêmica de primitivas arquitetônicas enquanto ontologias, à medida que baseia-se em uma estrutura paramétrica de modelagem que “é composta por famílias de objetos, incluindo atributos de forma, atributos que não são de forma e relações” (Andrade e Ruschel, 2009).

O que as moléculas são para os processos físicos, as primitivas geométricas são para nossos objetos montados. (Trummer, 2011 in Menges e Alquist, 2011, p. 19, tradução nossa)

Tal concepção de diferenciação e negociação de primitivas possibilita um aprofundamento na investigação sobre a envoltória rígida enquanto um sistema resultante dos processos emergentes que articulam primitivas em função de restrições internas e fatores externos.

Partindo da compreensão de DeLanda (2002), pode-se assumir que as denominadas primitivas geométricas ou arquitetônicas apresentam graus de liberdade em função de restrições físicas e/ou materiais. As associações, na verdade, formarão o todo representado pelo espaço potencial de transformação. Tais transformações passam, assim, a ser determinadas pela multiplicidade e pelos processos morfogenéticos, em vez de um tipo único e definidor da essência e da identidade.

Essa ligação se torna subitamente relevante através da maneira como uma montagem arquitetônica pode mudar. Se os objetos arquitetônicos são pensados como montagens, podemos começar a entendê-los como sistemas físicos, por meio dos quais a adição de partes define um espaço de possível mudança. Manuel DeLanda deu um nome a isso. Ele chamou de graus de liberdade que um objeto tem. O grau de liberdade define as possibilidades inerentes à transformação de um objeto. Como consequência, o objeto arquitetônico não deve mais ser entendido como uma construção geométrica, mas como uma entidade física. (Trummer, 2011 in Menges e Alquist, 2011, p. 181, tradução nossa)

Essa multiplicidade pode ser descrita como uma variedade geométrica que, ao ser relacionada a um dado objeto arquitetônico baseado em técnicas associativas de projeto, é definida pela forma com que as primitivas arquitetônicas se configuram e estas últimas definem as restrições métricas dos componentes do objeto. À ontologia deleuziana, uma multiplicidade não é baseada nos efeitos produzidos apenas pela acumulação dos membros individuais em relação uns com os outros; na verdade, "tudo é uma multiplicidade na medida em que encarna uma ideia... em vez da enorme oposição entre um e os muitos, há apenas a variedade de multiplicidades - ou em outras palavras, diferença" (Deleuze, 1968 *apud* Trummer, 2011). Este potencial de multiplicidade está relacionado com o que Burry (2011) intitula "espaço de estados".

[...] essa pluralidade de parâmetros então percebida não necessariamente trará mais possibilidades de estados projetuais (Mitchell, 2008) e, por consequência, de variações formais. Isso se dá pelo fato de que muitos destes parâmetros, a princípio variáveis, podem atrelar-se a valores simbólicos e, na verdade, tornarem-se inflexíveis às mudanças. Por tal razão, a envoltória rígida tende a apresentar um essencialmente restrito espaço de estados, conceito definido por Burry (2011) como o alcance do potencial morfológico. (Araújo *et al.*, 2024, p. 269-270)

É possível inferir, deste modo, que cada envoltória apresenta um domínio particular dos estados que correspondem a um grau satisfatório de adequação às metas de projeto que se deseja alcançar, como o desempenho térmico e a preservação da imagem, que foram as metas de projeto aprofundadas nesta pesquisa. Estes domínios derivam das diferentes combinações das propriedades da envoltória.

Correlacionado a isso, Trummer (2011) identifica uma dualidade relacionada à natureza das propriedades das primitivas arquitetônicas: métricas e não-métricas. Limitadas pela materialidade, propriedades métricas espaciais podem ser mensuradas pelas dimensões lineares, superficiais ou tridimensionais. Estas propriedades encontram-se, contudo, submetidas a uma outra natureza de propriedade inerentes ao ambiente de formação. Desde modo, para gerar um comportamento coletivo, propriedades métricas precisam ser testadas e observadas com propriedades não métricas. Estas últimas, por serem balizadas pelo ambiente,

podem ser mensuradas, por exemplo, pela temperatura, pressão, tensão, entre outras grandezas. As propriedades não métricas podem afetar a maneira como uma configuração de elementos se relaciona com a outra. A restrição material métrica do primitivo arquitetônico define os graus de liberdade do sistema. Relacionado a isto, o ambiente de modelagem BIM, por sua natureza paramétrica, permite uma representação de objetos a partir de parâmetros relacionados relativos à geometria (propriedades métricas), bem como a incorporação de parâmetros não métricos que descrevem objetos (propriedades não métricas) (Eastman *et al.*, 2018), podendo estas últimas apresentar uma natureza qualitativa, como a rigidez da imagem dos elementos de uma envoltória.

A negociação entre as propriedades não métricas dos componentes arquitetônicos e os efeitos originados de sua montagem guiados pelas propriedades não métricas, pode ser chamada de processo morfogenético do qual uma forma emerge. (Trummer, 2011 in Menges e Alquist, 2011, p. 19, tradução nossa)

Compreendendo a envoltória como a membrana que intermedeia a relação entre sistema (edificação) e ambiente (cidade), percebe-se que os graus de liberdade de suas primitivas, isto é, sua rigidez, decorre da importância da imagem da edificação para a cidade. Por esta razão, a rigidez que a define pressupõe tempo e mudança: tempo para se consolidar como imagem e suscitar o interesse de permanecer; e mudanças internas e/ou externas, que pressionam seu sistema à reformulação, fazendo perceber a necessidade de mudanças internas para resiliência do sistema. E, como consequência do pensar reformulação, são percebidas as restrições atreladas aos componentes que se tornaram rígidos pela memória. Essa rigidez é, portanto, fundamentalmente projetual, uma vez que, naturalmente, a envoltória, enquanto ente material, não é rígida ou estática. Pelo contrário, encontra-se sujeita às transformações do ambiente e à degradação, nada obstante o potencial de rigidez aqui discutido.

Partindo da premissa de que a rigidez da envoltória decorre da rigidez da imagem da edificação, infere-se que uma possível delimitação material da envoltória rígida corresponde ao conjunto de propriedades da envoltória que são especialmente significativos para a imagem e memória do edifício, que pode conter em si um nuances

de rigidez. Uma vez que a envoltória rígida advém de valores intangíveis e coletivos da memória, faz-se um desafio a identificação dos valores que quantificam seus graus de rigidez.

Desta forma, é possível obter as seguintes inferências sumariamente:

- 1) A rigidez de uma envoltória é um espectro resultante da negociação das primitivas arquitetônicas que a compõem e de uma memória coletiva;
- 2) Assim como qualquer sistema aberto complexo, o sistema da envoltória rígida está submetido às condicionantes do ambiente, sejam elas físicas ou metafísicas, que moldam este sistema em um processo evolutivo;
- 3) A associação dos núcleos semânticos estudados (envoltória e rigidez) revela uma natureza simultânea e potencialmente conflitual dos interesses da adaptação e da permanência;
- 4) Essa natureza conflitual decorre do fato de que tanto a rigidez quanto o desempenho da edificação são diretamente determinados por parâmetros de projeto pertencentes à envoltória.

Estas inferências trazem à tona uma questão fundamental para a discussão em torno das envoltórias rígidas: como conciliar o interesse de preservação de elementos simbólicos de uma edificação com a sua necessidade de adaptação? Uma possível resposta reside na perspectiva sistêmica de projeto que Frazer (2011) sublinha, reforçando o papel central do projeto arquitetônico para conciliar diferentes metas. Essa perspectiva sistêmica dialoga com o objetivo de pesquisa de representar, em um ambiente de projeto, a rigidez da imagem e o desempenho térmico da envoltória de uma edificação.

2.2 Classes de parâmetros de uma envoltória rígida

Sob o paradigma do pensamento computacional, Menges e Ahlquist (2011) apontam que a compreensão de como operam os sistemas é um aspecto indispensável para o projeto computacional, sendo requisito para o desenvolvimento de modelos preditivos. Segundo os autores, o êxito dessa abordagem depende de paradigmas de design orientados à definição de sistemas com parâmetros concisos para, dentre outros objetivos, definir ainda mais o comportamento geral do sistema organizado. Esta premissa enfatiza a importância da identificação dos parâmetros de projeto que caracterizam uma envoltória rígida como sistema, sobretudo no que diz respeito às suas condições de permanência e de identidade.

Por isso, são definidos os parâmetros de envoltória rígida quaisquer propriedades da envoltória que apresentam potencial relevância para a memória da imagem da edificação. Estes parâmetros correspondem ao tipo que Trummer (2011) es propriedades métricas das primitivas arquitetônicas, tendo em vista que a “imageabilidade” estabelecida por Lynch (1960), diz respeito à “capacidade de percepção da cidade através de elementos físicos” (Rheingantz *et al.*, 2009). Dada a aplicação de parâmetros deste tipo para viabilizar uma quantificação da rigidez, que concentra-se na análise das propriedades métricas para mensurar a relevância destas para a rigidez na imagem, a apreciação mais direta de parâmetros simbólicos faz-se dispensável.

Estabeleceu-se, preliminarmente, classes de parâmetros de uma envoltória rígida, sendo estas: classe geral; classe ontológica e classe semântica.

A classe geral diz respeito aos parâmetros irreduzíveis que caracterizam a envoltória rígida como um todo, bem como sua relação com o ambiente, podendo compreender propriedades de composição formal, fatores relacionados à localização/entorno ou mesmo transformações do contexto urbano. Quanto à classe ontológica, são relacionados os elementos constituintes da envoltória rígida, que formam, entre si, subsistemas bem definidos por suas características essenciais, inter-relações e funções. Por sua vez, a classe semântica refere-se às propriedades dos elementos constituintes, podendo descrever suas características geométricas, posicionamento, propriedades de material, entre outros valores que podem ser, inclusive, simbólicos. Importa destacar que as classes não apresentam caráter segregatório, tornando possível que um único parâmetro pertença a diferentes classes simultaneamente, sendo estas um

conjunto de “molduras” sobrepostas pelas quais os parâmetros podem ser observados e interpretados. (Araújo *et al.*, 2024, p. 268)

A partir desta classificação, será proposto o aprofundamento e, em alguns casos, a revisão de terminologias para as classes de parâmetros de uma envoltória rígida, tendo em vista uma melhor adequação à teoria que embasa a presente pesquisa: a Teoria Geral dos Sistemas.

Em um enquadramento teórico que visa a conciliação da perspectiva sistêmica com a semiótica peirceana, Vieira (2000) expõe definições de sistema reportando, a princípio, ao postulado de Uyemov (1975), que estabelece sistema (S) como um conjunto ou agregado de coisas (m) cujas relações (R) geram propriedades (P) compartilhadas, conforme observa-se na definição:

$$(m) S =_{df} [R(m)]P$$

Fundamentadas nas definições apresentadas, são propostas as classes de parâmetros de uma envoltória rígida.

2.2.1 Classe geral

Esta classe relaciona parâmetros irreduzíveis do sistema, isto é, aqueles que, ao serem decompostos e/ou sua análise reduzida, são perdidas informações sobre a integridade do sistema em sua totalidade (Alexander, 2011). São estas informações irreduzíveis do sistema que o definem como tal. Isto significa dizer que estes são os parâmetros que expressam e caracterizam o comportamento sistêmico da envoltória rígida, correspondendo ao elemento *P* da definição de Uyemov (1975).

Em todos os casos somos confrontados com um objeto que exhibe algum tipo de comportamento que só pode ser entendido como um produto da interação entre partes dentro do objeto. Chamamos esse tipo de comportamento de comportamento holístico. (Alexander, 2011 in Menges e Alquist, 2011, p. 60, tradução nossa)

Apesar de que fatores essencialmente relacionais entre os elementos apresentem relevância para a percepção da integridade do sistema, importa enfatizar que a classe geral de parâmetros de uma envoltória rígida não busca expressar diretamente o elemento *R* da definição de Uyemov (1975). Esta classe tem enfoque,

na verdade, nas propriedades perceptíveis, ou seja, concernentes às propriedades P emergentes das relações R do sistema envoltória. Estas propriedades podem surgir das relações entre os agregados m e/ou entre o sistema e o ambiente.

Assim, os parâmetros que pertencem à classe geral qualificam a envoltória rígida como um todo e a conferem um comportamento sistêmico, permitindo a compreensão das dinâmicas de manutenção de sua identidade e dos possíveis impactos causados por quem a percebe. Esta classe elenca parâmetros para a construção do indicador de rigidez do tipo geral, a exemplo da simetria e da relação com o entorno construído.

2.2.2 Classe de componentes

A classe de componentes diz respeito aos agregados do sistema da envoltória rígida, correspondendo ao elemento m da definição de Uyemov (1975). Esta classe parte da ideia de subsistema, uma vez que fundamenta-se na possibilidade de se identificar as partes do sistema e que estas podem ser observadas como unidades por si mesmas, isto é, cada uma como um todo unificado que pode compreender em si um conjunto secundário de agregados.

Subsistema - menor conjunto significativo integrante do sistema. Conceito fundamental para os que se utilizam da abordagem sistêmica para a análise e compreensão das organizações; todo sistema é, ao mesmo tempo, sistema e subsistema; todo subsistema é, ao mesmo tempo, subsistema e sistema, sendo uma coisa ou outra, dependendo da referência. (Pizza Junior, 1986, p. 79)

Ao relacionar parâmetros sistêmicos, Vieira (2000) aponta que a composição é um parâmetro inerente a qualquer sistema evolutivo e “consiste naquilo de que o sistema é formado”. Em observando os agregados m de uma envoltória rígida, a ideia de subsistema aplica-se tanto aos componentes em si próprios (como um único pilar) quanto aos possíveis subsistemas que surgem pelo agrupamento de componentes por similaridade ou por convenção consolidadas advindas de similaridades previamente observadas (como o sistema de pilares de um edifício).

[...] estrelas são compostas por partículas, átomos e campos; sistemas vivos por células, que são subsistemas contendo suas composições, o que inclui o gene, etc. Teorias são compostas por conceitos e sistemas de conceitos, como problemas, hipóteses, leis, dados, evidências, testes, etc. (Vieira, 2000, p. 17)

Portanto, esta classe propõe elencar os agregados m da envoltória rígida, bem como considerar os subsistemas bem definidos que podem surgir a partir das relações e similaridades entre estes agregados, permitindo entender como o todo é constituído a partir de suas partes. Os parâmetros desta classe são fundamentais para a construção do indicador de rigidez específica.

2.2.3 Classes de atributos

Também baseada no conceito de subsistemas supracitado, a classe de atributos se refere às propriedades P da definição de Uyemov (1975), desta vez, referentes aos agregados m então identificados como subsistemas com seus respectivos conjuntos de propriedades particulares. Isto significa dizer que, nesta escala de análise, cada agregado m se torna um sistema S cujas propriedades P são os parâmetros concernentes à classe de atributos.

Esta classe, embora proponha uma certa redução no nível de análise para considerarem-se os subsistemas, é fundamental para compreensão da percepção sistêmica da imagem da envoltória, uma vez que estas propriedades P que a classe representa podem ser determinantes para a percepção e pregnância da identidade do todo. Nesta classe, estão contidos parâmetros que compõem o indicador de rigidez específica, como a cor e as dimensões.

2.3 Modelagem e design da informação

A reflexão em torno do conceito de envoltória rígida deve compreender, ainda, a sua operacionalização, ou mais especialmente, a sua aplicação no processo de projeto. Dada a natureza informacional do problema de pesquisa, o conceito de modelagem e design da informação torna-se relevante para a discussão acerca da envoltória rígida, uma vez que é definido como “a arte e ciência de preparar informação de modo que ela possa ser usada por seres humanos com eficiência e eficácia” (Robert E. Horn, 1999 apud Souza *et al.*, 2016). Portanto, esta seção busca explorar conceitos que fundamentam a operacionalização do conceito de envoltória rígida dentro do paradigma do design e modelagem da informação, bem como sua aplicação no processo de projeto.

2.3.1 Representação da informação no processo de projeto

A operacionalização do conceito de envoltória rígida compreende tanto um processo de transformação de dados em informação quanto um outro de transformação das informações geradas em conhecimento aplicado em projeto. À perspectiva da utilidade da representação visual da informação para organização e tradução de dados em prol da produção de conhecimento, estes processos de transformação podem ser observados no seminal de Tufte (2001), pelo qual é demonstrado o potencial de peças gráficas para transformação de dados em informação e para tornar estas informações inteligíveis e passíveis de análise.

No contexto do problema informacional desta pesquisa, tais processos são particularmente relevantes, à medida que a rigidez da envoltória baseia-se em dados essencialmente abstratos: a percepção e memória acerca das edificações.

Infere-se, assim, que trata-se de um conjunto de dados de natureza qualitativa que, em seu estado bruto, não apresentam utilidade para o suporte à decisão no processo de projeto. A fim de que estes dados sobre percepção se tornem úteis para a tomada de decisão, faz-se substancial submetê-los a um processo de tradução intersemiótica capaz de produzir métricas objetivas que possam ser analisadas quantitativamente.

Nada obstante a importância de se mensurar o fenômeno da envoltória rígida, a necessidade de sua representação visual corrobora-se com a relação entre a memória e a imagem salientada por Wurman (2001):

Como se expressa uma idéia? Como evitar ser seduzido e permitir que a sensibilidade flua num produto acabado que tenha clareza? Como ligar a idéia e a imagem? Idéias que não estejam associadas a imagens são esquecidas. (Wurman, 2001, p. 79)

Para tanto, Tufte (2001) apresenta um conjunto de características que qualificam a excelência da representação em gráficos estatísticos, por exemplo, buscando demonstrar como expressar ideias complexas com clareza, precisão e eficiência:

- 1) Mostrar os dados;
- 2) Induzir o observador a pensar sobre o conteúdo, e não sobre a metodologia, o design gráfico, a tecnologia de produção gráfica ou outra coisa
- 3) Evitar distorcer aquilo que os dados têm a dizer
- 4) Apresentar muitos números em um espaço pequeno
- 5) Tornar conjuntos de dados extensos coerentes
- 6) Incentivar o olhar a comparar diferentes partes dos dados
- 7) Revelar os dados em vários níveis de detalhamento, desde uma visão geral ampla até a estrutura fina
- 8) Servir a um propósito razoavelmente claro: descrição, exploração, tabulação ou decoração
- 9) Ser estreitamente integradas com as descrições estatísticas e verbais de um conjunto de dados

2.3.2 Building Information Modeling

Dentro do escopo da operacionalização do conceito envoltória rígida, a ideia de lidar sistemicamente com primitivas arquitetônicas, suas relações e respectivos parâmetros vai ao encontro do conceito de BIM (*Building Information Modelling*), cuja lógica possibilita o gerenciamento dessas primitivas, enquanto ontologias, em um ambiente de projeto que funciona a partir modelos paramétricos, além de coordenar diferentes informações de projeto de forma integrada (Andrade e Ruschel, 2009).

Segundo Andrade (2012), a abordagem BIM apresenta uma diversidade de definições que demonstram “que a sobreposição de limites entre cada um deles torna a singularidade do termo algo questionável”. Succar (2009) enfatiza esta diversidade à medida que apresenta três domínios BIM: processo, tecnologia e política.

A interseções destes campos gera o que Succar (2009) intitula “sobreposições BIM”, pelas quais o caso da envoltória rígida tende a perpassar de duas formas:

Caso 1: quando um entregável BIM requer a contribuição de dois ou mais agentes ou campos. Por exemplo, o desenvolvimento e a implementação de esquemas interoperáveis não proprietários (como o Industry Foundation Classes - IFC) exigem o esforço conjunto de agentes da esfera de Política (pesquisadores) e de Tecnologia (desenvolvedores de software). Caso 2: quando agentes pertencentes a um determinado campo geram entregáveis classificados em outro. Por exemplo, o Instituto Australiano de Arquitetos é uma “entidade do setor” – cujos membros são agentes de Processo (arquitetos) – que produz entregáveis de Política (diretrizes e boas práticas). (Succar, 2009, p. 5, tradução nossa)

Por sua vez, Eastman *et al.* (2018) elucidam que a abordagem BIM baseia-se em duas principais características: a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. Em virtude dessas duas características, nota-se a pertinência do ambiente BIM para a operacionalização do conceito de envoltória rígida, ideia que fundamenta-se em algumas particularidades de tais características do BIM que encontram-se melhor aprofundados nas seções subsequentes.

2.3.1.1 Modelagem paramétrica

Quanto à modelagem paramétrica inerente aos ambientes de modelagem do tipo BIM, Andrade e Ruschel (2009) explicam:

[...] permite representar os objetos por parâmetros e regras associados à sua geometria, assim como, incorporar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Além do mais, modelos de construção baseados em objetos paramétricos possibilitam a extração de relatórios, checagem de inconsistências de relações entre objetos e incorporação de conhecimentos de projeto, a partir dos modelos (Andrade e Ruschel, 2009, p. 603).

Por ser baseada na definição dos parâmetros de seus objetos, a modelagem paramétrica permite que os elementos da envoltória sejam representados a partir das suas restrições formais de que procedem a sua rigidez.

Os sistemas de abordagem paramétrica introduzem uma lógica intrínseca ao pensamento computacional ao apresentarem a possibilidade de gerar diferentes composições, a partir de regras pré-definidas e mais facilmente manipuladas (Tedeschi, 2014).

Além disso, dado que o BIM propicia a representação de parâmetros da envoltória, destaca-se o potencial de incorporar ao ambiente de projeto os atributos não geométricos, como muitos parâmetros de envoltória rígida que consolidam a imagem de uma envoltória.

Ao invés de modelos geometricamente fixos, que exigem maior esforço para efetuar mudanças posteriores - conventional design - os aspectos do projeto são designados anteriormente - parametric design -, a fim de explorar a flexibilidade das relações no modelo (Scheeren e Lima, 2015, P. 2).

Tal incorporação de parâmetros não geométricos pode viabilizar uma análise qualitativa entre diferentes possibilidades de estado de uma envoltória, sendo possível compará-los para medir como alterações nesses parâmetros podem afetar a percepção da imagem da edificação.

Da mesma maneira que o valor de uma variável provém de um intervalo de valores, o estado de um mundo projetual também provém de um intervalo de estados possíveis. Em um mundo de blocos de madeira ou recortes de cartolina, um estado é simplesmente um arranjo de peças. Em um mundo de linhas desenhadas sobre uma superfície, um estado é um arranjo específico dessas linhas sobre o papel. Em um sistema CAD, um estado é uma determinada relação entre valores específicos dados. (Mitchell, 2008, P. 68)

O caráter sistêmico do ambiente BIM articula-se com as classes de parâmetros de envoltória rígida estabelecidos neste trabalho, que são baseadas na definição de sistema de Uyemov (1975) (seção 2.2).

A estrutura de um modelo paramétrico é composta por “famílias” de objetos incluindo atributos de forma, atributos que não são de forma e relações. Assim, diferentes instâncias de um tipo podem gerar uma grande variedade de objetos, com parâmetros diversificados e dispostos em posições variadas (Andrade e Ruschel, 2009).

Nota-se que a modelagem paramétrica inerente ao ambientes BIM viabiliza não só uma representação métrica de restrições qualitativas de projeto (rigidez da envoltória), como também uma investigação dos diferentes estados da envoltória, permitindo encontrar o domínio de estados que corresponde a um grau satisfatório de adequação às metas de projeto que se deseja alcançar, dentro do “espaço de estados” que Burry (2011) estabelece.

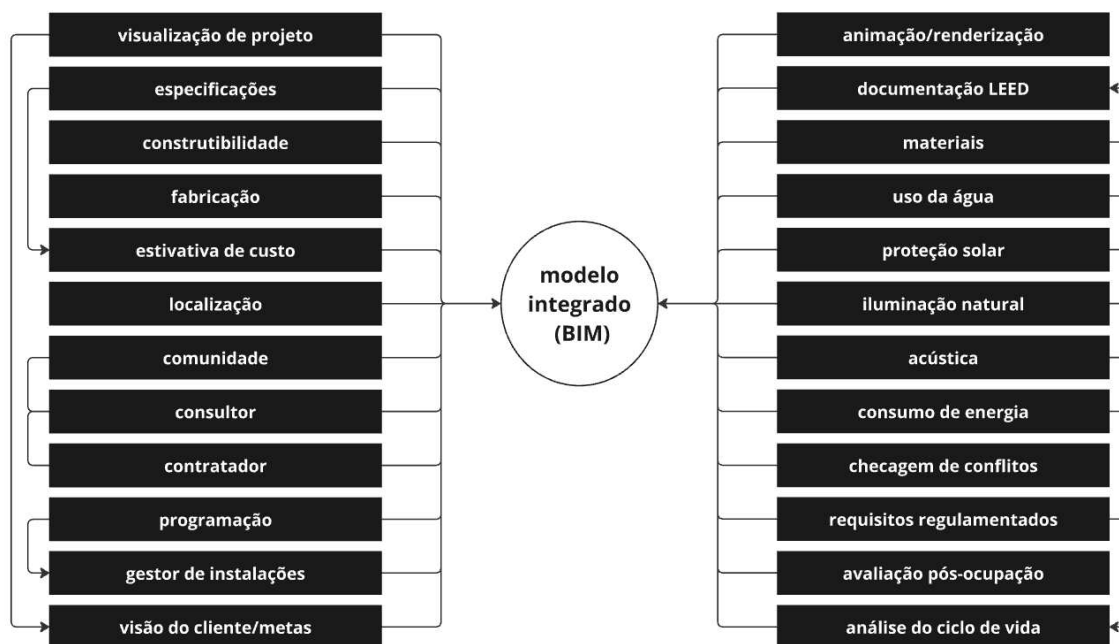
2.3.1.2 Interoperabilidade

Quanto à interoperabilidade, Andrade e Ruschel (2009) a descrevem como uma “condição para o desenvolvimento de uma prática integrada”, o que considera o fato de que o projeto da edificação apresenta diferentes disciplinas.

O uso de uma prática integrada com times de colaboração é possível com a integração da informação entre aplicativos computacionais, utilizados por diferentes profissionais de projeto (Andrade e Ruschel, 2009, p. 603).

Por sua vez, Eastman *et al.* (2018) explicam que os dados do modelo podem ser gerados com o objetivo de serem compartilhados com outras aplicações, em prol da colaboração com outros consultores (Figura 5).

Figura 5. Áreas de interesse que podem estar integradas no modelo BIM



Fonte: Adaptado de Krygiel e Niel (2007) *apud* Andrade (2012)

A colaboração é sustentada pelo grau em que a aplicação BIM provê interfaces com outros produtos específicos e, de forma mais ampla, pelo seu suporte à importação e exportação de padrões abertos de intercâmbio de dados. Ambos os tipos de interfaces são revisados detalhadamente no Capítulo 3. Os padrões de intercâmbio aberto estão se tornando mais elaborados e começando a dar suporte a trocas em nível de fluxo de trabalho (*workflow*). Isso exige variadas traduções de exportação e importação. Um recurso de importação e exportação facilmente customizável é altamente benéfico. Tanto as interfaces das ferramentas quanto os aspectos mais gerais da interoperabilidade são considerados. (Eastman *et al.*, 2018, p. 61, tradução nossa)

Nesse sentido, a interoperabilidade relaciona-se à possibilidade de integração entre o ambiente BIM e outros tipos de ambientes computacionais de projeto, incluindo de ambientes de modelagem paramétrica (Andrade e Ruschel, 2009).

A interoperabilidade é a capacidade de transferir dados entre aplicações e de permitir que múltiplos softwares contribuam conjuntamente para a tarefa em execução. No nível mínimo, a interoperabilidade elimina a necessidade de copiar manualmente dados que já foram gerados em outra aplicação. (Eastman *et al.*, 2018, p. 87, tradução nossa).

A interoperabilidade dialoga diretamente com a multidimensionalidade da envoltória rígida, que parte do pressuposto de que esta apresenta natureza simultânea e potencialmente conflitual dos interesses da adaptação e da permanência, exigindo a capacidade de conciliar diferentes metas de projeto e, por consequência, ambientes.

2.3.3 Projeto baseado em desempenho

Ao questionar paradigmas que relacionam forma e função de maneira causal, Kalay (1999) introduz à discussão sobre modelos de projeto o conceito de desempenho, que, segundo Andrade (2012), é tradicionalmente associado ao ato de avaliação no projeto. Kalay (1999) explica que este conceito é proveniente da ideia de que a relação entre forma e função não baseia-se em uma relação direta de causalidade, mas no contexto.

A forma de um edifício também depende dos contextos físicos, culturais, sociais e outros nos quais ele está inserido, tanto quanto depende da função que deve servir. A forma da Ópera de Sydney é um exemplo de uma forma derivada do contexto físico do edifício (o porto de Sydney), tanto quanto de sua função (uma sala de concertos). Da mesma forma, a forma da Capela de Ronchamp, de Le Corbusier, foi derivada de seu contexto espiritual, tanto quanto de suas considerações funcionais e do local físico [...] (Kalay, 1991, p. 400, tradução nossa)

Tendo em vista a premissa da relação consolidada objeto-contexto que define a envoltória rígida (sistema) com o contexto da edificação (ambiente), o modelo de projeto proposto por Kalay (1999) é relevante para fundamentar a operacionalização do conceito de envoltória rígida. Denominado-o como projeto baseado em desempenho, o autor define:

[...] o projeto baseado em desempenho reconhece que diferentes formas podem desempenhar funções semelhantes com sucesso, e que diferentes funções podem, muitas vezes, ser proporcionadas por formas semelhantes. Além disso, ele leva em conta as variações de desempenho das mesmas combinações de forma/função dentro de diferentes contextos. (Kalay, 1991, p. 396, tradução nossa)

Sob esta ótica, Lima (2016) enfatiza o caráter cíclico com que se sucede o processo de projeto baseado em desempenho ao afirmar que:

À medida que a forma é modificada na tentativa de atender aos objetivos, novos deles são estabelecidos. Estes são baseados em limitações, restrições e

oportunidades que só foram vislumbrados à medida que a forma foi sendo modificada. Esse processo vai se desenvolvendo até que uma forma seja encontrada para satisfazer a um conjunto aceitável de objetivos. (Lima, 2016, p. 56)

Este processo iterativo destacado por Lima (2016) pode exigir respaldo em abordagens computacionais de projeto. Nesse contexto, Oxman (2008), ao elencar conceitos-chave e questões de pesquisa no campo do projeto arquitetônico baseado em desempenho, ressalta a contribuição do design paramétrico como amparo tecnológico de projetos baseados em desempenho. Oxman (2008) associa esta contribuição à possibilidade de reconfiguração de parâmetros de uma dada estrutura geométrica. Tal qualidade de variabilidade geométrica em função de parâmetros configura o que intitula de “relação simbiótica” entre o design paramétrico e o design baseado em desempenho.

No design paramétrico, as relações entre os objetos são explicitamente descritas, estabelecendo interdependências entre os diversos objetos. As variações, uma vez geradas, podem ser facilmente transformadas e manipuladas ativando esses atributos. Diferentes atribuições de valores podem gerar múltiplas variações enquanto mantêm as condições essenciais das relações topológicas. Tecnologias de mídia paramétrica associativa (Generative Components, Digital Project e outras) hoje fornecem ambientes de design nos quais o projetista pode definir as propriedades genéricas de uma estrutura geométrica dentro de uma estrutura definida pelo usuário. (Oxman, 2008, p. 8, tradução nossa)

Esta variabilidade geométrica em função de parâmetros apresenta utilidade para a operacionalização da envoltória rígida, conforme discutido na seção que discute a modelagem paramétrica especialmente situada no ambiente BIM (2.3.1.1). Nada obstante, esta utilidade reitera-se, desta vez, dentro da discussão que toca ao projeto baseado em desempenho, em razão de uma necessidade característica da problemática da envoltória rígida de conciliar diferentes objetivos de projeto dentro do ciclo iterativo de descoberta de restrições esclarecido por Lima (2016).

[...] o desempenho de uma solução projetual proposta só pode ser determinado por meio de uma avaliação interpretativa e judicativa, que considera a forma e outros atributos físicos da solução proposta, os objetivos funcionais que ela busca alcançar e as circunstâncias nas quais forma e função se articulam. (Kalay, 1991, p. 396)

Oxman (2006) desenvolve uma categorização de modelos de projeto digital, dentre eles, o modelo de projeto digital baseado em desempenho.

O design baseado em desempenho emprega técnicas de simulação analítica que produzem expressões paramétricas detalhadas de desempenho. Estas, por sua vez, podem produzir respostas formais (*formation responses*) para classes complexas de requisitos de desempenho. (Oxman, 2006, p. 257, tradução nossa)

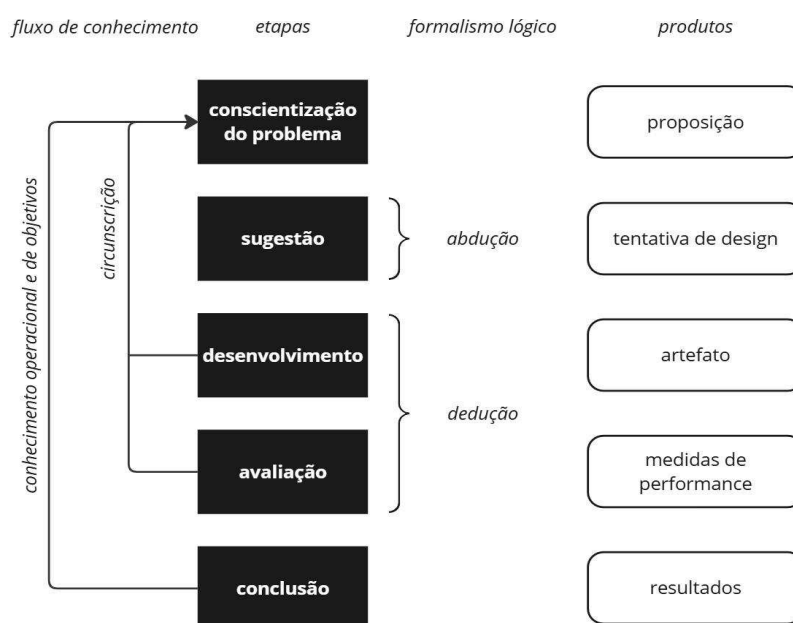
Dado o interesse de produzir artefatos para o suporte à decisão no processo de projeto, a pesquisa enquadra-se neste modelo de projeto uma vez que este é associado à simulação baseada no desempenho, sobretudo analíticas.

3. MÉTODO

3.1 Enquadramento metodológico

Em vista da natureza **prescritiva** do objetivo de pesquisa, a estratégia metodológica adotada é a **design science research (DSR)**, visto que este trabalho tem enfoque no desenvolvimento e validação de conhecimento da área do design da informação através da proposta de artefatos, abordando um tipo generalizado de problema e avaliando sua utilidade no contexto estudado (Venable e Baskerville, 2012). Enquadrada no paradigma do projeto computacional e estudando um problema de caráter multidimensional, a pesquisa apresenta natureza de dados **quali-quantitativa**, a partir dos quais será avaliada a aplicabilidade dos artefatos a serem desenvolvidos para o problema em estudo. Partindo de formalismos lógicos de **abdução** e **dedução** próprios de uma DSR (Manson, 2006), intenta-se alcançar resultados do tipo **aplicados**. Baseadas no modelo de DSR de Manson (2006), as principais etapas do método de pesquisa consistem: 1) Conscientização do problema; 2) Sugestão; 3) Desenvolvimento; 4) Avaliação e 5) Conclusão (Figura 6).

Figura 6. Modelo da *design science research*.



Fonte: Adaptado de Manson (2006) *apud* Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)

3.2 Artefatos

Partindo da classificação de artefatos de uma DSR proposta por March e Smith (1995), esta pesquisa tem como produtos os artefatos do tipo construto, modelo, método e instanciação.

March e Smith (1995) elucidam como construtos constituem uma espécie de conceitualização usada para descrever problemas dentro de um determinado domínio e especificar suas soluções. Assim, o construto produzido nesta pesquisa corresponde ao **conceito de envoltória rígida** representado formalmente por um **indicador de rigidez**, emergente do problema estudado.

Os modelos tratam-se de um “conjunto de proposições ou declarações que expressam relações entre construtos” (March e Smith, 1995), sendo considerados como representações da realidade que apresentam não apenas as variáveis de um sistema de forma isolada, como também as suas relações (Dresch, Lacerda e Antunes Júnior, 2015). O modelo produzido nesta pesquisa corresponde a um **workflow** que objetiva propor uma associação do construto concebido neste trabalho com outros construtos que mostraram-se importantes para o problema investigado (BIM e desempenho térmico).

Por sua vez, os métodos podem ser entendidos como “um conjunto de passos necessários para executar uma determinada tarefa” (March e Smith, 1995). Nesta pesquisa, os métodos desenvolvidos consistem em: um **protocolo de aplicação do indicador de rigidez**, como guia para aplicação do construto; e um **protocolo de aplicação do workflow**, como guia para aplicação do modelo.

Finalmente, as instanciações consistem em operacionalizações que buscam “principalmente demonstrar a viabilidade, bem como a eficácia, dos artefatos construídos” (March e Smith, 1995). Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) declaram que instanciações podem referir-se a um artefato específico ou a uma articulação de diferentes artefatos para produzir resultados dentro de um determinado contexto da realidade. Assim, a instanciação implementada nesta

pesquisa corresponde à aplicação dos artefatos supracitados a um **estudo de caso**, pelo qual se busca analisar e validar a utilidade destes artefatos em um caso da realidade.

3.3 Etapas e procedimentos metodológicos

Com base no modelo de DSR proposto por Manson (2006) (Figura 6), esta seção tem enfoque em uma descrição dos procedimentos implementados em cada etapa (conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão), das quais os respectivos produtos (proposição, tentativa de design, artefatos, medidas de performance e resultados) encontram-se descritos de forma mais aprofundada no Capítulo 4, no qual são apresentados os resultados da pesquisa.

O Quadro 2 relaciona de forma sintética as atividades desenvolvidas e os produtos gerados em cada etapa da DSR.

Quadro 2. Síntese de etapas, atividades e produtos da DSR.

<i>Etapa</i>	<i>Atividades</i>	<i>Produtos</i>
Conscientização do problema	Revisão da bibliografia a partir das naturezas do problema de pesquisa (contextual, ontológica e informacional).	<input checked="" type="checkbox"/> Problema contextual: Arcabouço teórico e definição dos conceitos-chave que introduzem o contexto de transformações socioespaciais e mudanças climáticas em que a pesquisa está inserida; <input checked="" type="checkbox"/> Problema ontológico: Trabalhos que contribuíram para a construção do conceito de envoltória rígida face à lacuna identificada na literatura quanto à quantificação da rigidez das envoltórias;

Quadro 2. Síntese de etapas, atividades e produtos da DSR (continuação).

<p>Conscientização do problema</p>	<p>Revisão da bibliografia a partir das naturezas do problema de pesquisa (contextual, ontológica e informacional).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Problema informacional: Repertório de trabalhos de referência de abordagens com potencial para atender aos objetivos de visualização e modelagem da informação no processo de projeto e de análise de desempenho térmico. <input checked="" type="checkbox"/> Proposta.
<p>Sugestão</p>	<p>Reconhecimento e delimitação conceitual da envoltória rígida para concepção de definição de partida;</p> <p>Apontamento de pressupostos conceituais que baseiam o indicador de rigidez;</p> <p>Investigação de construtos relevantes a serem associados com o construto envoltória e identificação de suas relações para representação no modelo;</p> <p>Estabelecimento do conjunto de etapas necessárias para implementação dos métodos;</p> <p>Delineamento de plano de aplicação dos artefatos em um estudo de caso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Construto: proposta de definição de partida do conceito de envoltória rígida; tabela de proposta construção do indicador de rigidez (representação formal do conceito); <input checked="" type="checkbox"/> Modelo: diagrama do modelo conceitual de fluxo de informação que relaciona os construtos envoltória rígida, BIM e desempenho térmico; <input checked="" type="checkbox"/> Método: proposta de etapas do protocolo de aplicação do indicador de rigidez e protocolo de aplicação do <i>workflow</i>; <input checked="" type="checkbox"/> Instanciação: plano de aplicação dos artefatos em um estudo de caso;

Quadro 2. Síntese de etapas, atividades e produtos da DSR (continuação).

<p>Desenvolvimento</p>	<p>Apontamento de inferências e classes sistêmicas que caracterizam o conceito de envoltória rígida;</p> <p>Caracterização do indicador de rigidez (construto) a partir de questões-guia baseadas em modelos de construção de indicadores compostos;</p> <p>Seleção das funcionalidades do <i>workflow</i> para identificação dos <i>softwares</i>, <i>plugins</i> e linguagens que as atendem;</p> <p>Testes iterativos do modelo com pequenos <i>datasets</i> para verificação interna;</p> <p>Descrição de etapas previstas na etapa de sugestão para os métodos;</p> <p>Definição da unidade-caso;</p> <p>Coleta de dados qualitativos (parâmetros de envoltórias rígida) e quantitativos (dados para análise do desempenho térmico) da unidade-caso em estudo;</p> <p>Aplicação dos artefatos em um caso representativo: operacionalização do indicador de rigidez (construto), aplicado a partir dos protocolos (métodos) que prevê coleta dados qualitativos que servem de input para um <i>workflow</i> (modelo).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Construto: axiomas que fundamentam o conceito de envoltória rígida; classes de parâmetros de envoltória rígida; proposta do conjunto de parâmetros sistêmicos de uma envoltória rígida; expressão do indicador de rigidez. <input checked="" type="checkbox"/> Modelo: <i>workflow</i> que relaciona os construtos envoltória rígida, BIM e desempenho térmico; <input checked="" type="checkbox"/> Método: protocolo de aplicação do indicador de rigidez e protocolo de aplicação do <i>workflow</i>; <input checked="" type="checkbox"/> Instanciação: aplicação dos artefatos em um caso da realidade.
------------------------	---	---

Quadro 2. Síntese de etapas, atividades e produtos da DSR (continuação).

<p>Avaliação</p>	<p>Construto: coleta, análise e codificação de mapas mentais para levantar as frequências de fachadas e de elementos arquitetônicos representados pelos participantes;</p> <p>Modelo: <i>feedback</i> sobre a utilidade do modelo para representar a rigidez na envoltória e os impactos das alterações para a imagem e para o desempenho térmico.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Matrizes de avaliação com métricas de desempenho dos artefatos avaliados (construto e modelo);</p>
<p>Conclusão</p>	<p>Análise e documentação dos resultados obtidos;</p> <p>Produção de relatórios de síntese das contribuições e subprodutos da pesquisa para a classe de problemas investigadas;</p> <p>Identificação das limitações e potencialidades dos artefatos para pesquisas futuras.</p>	<p>Publicação de artigos científicos e divulgação em eventos acadêmicos quanto às:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Contribuições teóricas: conceito de envoltória rígida (Araújo <i>et al.</i>, 2024).</p> <p><input type="checkbox"/> Contribuições práticas: inferências obtidas com a aplicação dos artefatos em um estudo de caso.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.1 Conscientização do problema

O problema de pesquisa, conforme previamente apresentado, é compreendido a partir de três principais eixos temáticos (transformações socioespaciais, envoltórias rígidas e modelagem da informação) que atribuem a este problema diferentes naturezas (contextual, ontológica e informacional). Partindo da revisão bibliográfica implementada, buscou-se estabelecer um arcabouço teórico que perpassa e aprofunda-se nestes eixos, de modo a permitir não somente identificar o estado da arte da área do design da informação no que tange à problemática estudada, como também embasar a construção dos artefatos propostos. Objetiva-se, com isso, direcionar a pesquisa aos aspectos em que este campo do conhecimento

pode avançar, partindo da análise de produções existentes na literatura e do potencial de ampliação identificado nas lacunas de conhecimento. Nesta etapa, são definidas as teorias e os conceitos-chave que baseiam a pesquisa a partir da observação de cada natureza atribuída ao problema de pesquisa.

Quanto à natureza contextual, fazem-se relevantes as teorias e estudos relacionados às transformações urbanas e arquitetônicas com enfoque na relação entre a edificação e as dinâmicas socioespaciais que a influenciam, abrangendo, ainda, investigações sobre o impacto das mudanças climáticas nas edificações.

A natureza ontológica do problema demanda uma exploração teórica inerentemente relacionada a conceitos fundamentais de definição do construto, uma vez que refere-se a uma construção conceitual do objeto de estudo. Portanto, as definições acerca da envoltória rígida compreendem investigações sobre a preservação da imagem das edificações, principalmente sobre os parâmetros de projeto que conferem rigidez às envoltórias, incluindo o aprofundamento em conceitos e teorias basilares, a exemplo da Teoria Geral dos Sistemas e da imageabilidade de Lynch (1960) (seção 2.1.2).

Em razão da natureza informacional do problema, são explorados estudos que abordam metodologias e tecnologias com potencial de viabilizar soluções para o problema informacional do problema de pesquisa, sobretudo relacionados ao desenvolvimento de indicadores, à análise de desempenho térmico e à representação da informação no processo de projeto.

3.3.2 Sugestão

Manson (2006) explica que a etapa de sugestão tem como *output* uma ou mais tentativas de design, que buscam solucionar preliminarmente o problema estudado na etapa de conscientização do problema. Para isso, deverão ser especificados os pressupostos para a construção dos artefatos e exploradas as possibilidades de solução para que se alcance as finalidades desejadas.

Em relação ao **construto**, a etapa de sugestão consiste no reconhecimento e delimitação conceitual do fenômeno preexistente observado: a envoltória rígida. Com esta finalidade, é concebida uma definição de partida do conceito e os pressupostos conceituais que fundamentam sua representação formal em um indicador. Estas proposições foram estabelecidas e contextualizadas na classe de problema estudada a partir do comportamento sistêmico do construto.

Quanto ao artefato do tipo **modelo**, na etapa de sugestão, é realizado um delineamento preliminar do modelo (*workflow*) a ser desenvolvido: um modelo conceitual de fluxo de informação. Dado o objetivo deste modelo conceitual de representar como o construto envoltória rígida, formalizado em um indicador, pode ser incorporado ao processo de projeto, a etapa de sugestão envolve determinar quais outros construtos consolidados são relevantes para este objetivo, com os quais pretende-se associar o construto de envoltória rígida e cujas relações propõe-se investigar no modelo.

Tendo em vista que os **métodos** consistem em protocolos para a aplicação de artefatos produzidos nesta pesquisa (indicador de rigidez e *workflow*), a etapa de sugestão busca estabelecer, para cada um deles, o conjunto de macroprocessos necessários para sua implementação.

3.3.3 Desenvolvimento

Segundo o modelo de DSR de Manson (2006), a etapa de desenvolvimento apresenta um ou mais artefatos como *outputs*. Nesta etapa, consolidam-se as escolhas dos métodos e tecnologias empregadas para a construção dos artefatos e as relações causais que geraram o efeito desejado para que os artefatos atinjam seus objetivos. Esta etapa da pesquisa objetiva uma verificação dos procedimentos de implementação, com a possibilidade de proposições de iterações e ajustes quando necessários (Dresch, Lacerda e Antunes Júnior, 2015), a partir do que são formalizados os artefatos.

Para o desenvolvimento da base conceitual do **construto**, foram propostas inferências que caracterizam o conceito de envoltória rígida e as classes sistêmicas de seus parâmetros. As classes sistêmicas de parâmetros estabelecidas, além de contribuírem para a parte conceitual do construto, foram, ainda, uma premissa da estrutura que fundamenta a sua representação formal no indicador de rigidez aqui proposto.

Uma vez que os parâmetros de envoltória rígida são utilizados como os indicadores relevantes para o fenômeno a ser representado pelo indicador de rigidez, fez-se necessária uma especificação destes parâmetros para cada uma de suas classes sistêmicas (geral, de componente e de atributo), em prol da operacionalização e replicabilidade do indicador, sendo fundamental a concepção de uma base de referência que exemplifica as possíveis manifestações dos parâmetros de envoltória rígida em uma envoltória da realidade.

Foi proposto, então, o conjunto de referência que se intitula “coleção de parâmetros universais de uma envoltória rígida” (Apêndice A). Os parâmetros elencados estruturam-se em conformidade às classes de parâmetros de uma envoltória rígida previamente estabelecidas (classe geral, classe de componentes e classe de atributos). Esta coleção proposta dos parâmetros foi fundamentada na análise dos seminários de Ching (1998), Mitchell (2008) e Alexander *et al.* (2012), além de referências como a NBR 15965-4:2021, a NBR 15965-5:2022 e Araújo *et al.* (2024), que ofereceram subsídios para a identificação, sistematização e hierarquização de propriedades físicas, formais e informacionais do edifício, permitindo sua tradução em parâmetros passíveis de organização, comparação e análise interpretativa.

Dada a função da formalização do conceito de envoltória rígida, a proposição do indicador baseou-se em estudos de modelos de construção de indicadores compostos (Nardo *et al.*, 2005; Bahia, 2021; Brasil, 2018; ENAP, 2013). Logo, é a construção do indicador de rigidez (construto) é caracterizada a partir das seguintes etapas com respectivas questões-guia:

- 1) Identificação do objetivo da medição a partir de *framework* teórico: o que se espera responder com o indicador de rigidez?
- 2) Estabelecimento de indicadores: com base no *framework* teórico, quais indicadores apresentam relevância para representar o fenômeno a ser mensurado?
- 3) Atribuição de pesos: qual o grau de importância de cada indicador para descrever o fenômeno a ser mensurado pelo indicador de rigidez?
- 4) Normalização: como tornar comparáveis indicadores de diferentes dimensões e/ou escalas?
- 5) Construção de fórmula: como agregar em um cálculo os diferentes indicadores para a obter resultados numéricos ou simbólicos inteligíveis para a compreensão e comparação de valores para suporte à decisão?
- 6) Validação: como o indicador de rigidez pode ser avaliado?
- 7) Visualização dos resultados: como apresentar e comunicar os resultados?

O Quadro 3 apresenta como as questões-guia para construção de indicadores compostos direcionaram a proposta de construção do indicador de rigidez, elencando as respectivas respostas que resultaram na solução do indicador.

Quadro 3. Construção do indicador de rigidez: questões-guia para construção de indicadores compostos e respostas para soluções.

<i>Questões-guia</i>	<i>Soluções</i>
Identificação do objetivo da medição a partir de <i>framework</i> teórico: o que se espera responder com o indicador de rigidez?	Representar numericamente os graus de rigidez em uma envoltória.
Estabelecimento de indicadores: quais indicadores apresentam relevância para o fenômeno a ser mensurado?	Parâmetros de envoltória rígida.

Quadro 3. Construção do indicador de rigidez: questões-guia para construção de indicadores compostos e respostas para soluções (continuação).

Atribuição de pesos: com base no <i>framework</i> teórico, qual o grau de importância de cada indicador para descrever o fenômeno a ser mensurado pelo indicador de rigidez?	Peso 2 para parâmetros de envoltória rígida de classe de atributos, que podem ser determinantes para a percepção e pregnância da identidade do todo, isto é, especialmente relevantes para a rigidez da imagem.
Normalização: como tornar comparáveis indicadores de diferentes dimensões e/ou escalas?	Através da atribuição de valores numéricos dentro de uma escala Likert como padrão.
Construção de fórmula: como agregar em um cálculo os diferentes indicadores para a obter resultados numéricos ou simbólicos inteligíveis para a compreensão e comparação de valores para suporte à decisão?	Por média aritmética e média ponderada.
Validação: como o indicador de rigidez pode ser avaliado?	Através da etapa de avaliação da DSR, onde é implementada uma análise comparativa entre fontes de informação (dados objetivos de graus de rigidez e mapas mentais) para corroborar as informações produzidas pelo indicador.
Visualização dos resultados: como apresentar e comunicar os resultados?	Através do <i>workflow</i> de informação, que possibilita a representação da rigidez no processo de projeto.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à construção da fórmula, o indicador de rigidez foi definido em dois tipos, com base no tipo de rigidez analisada: geral e específica. O indicador de rigidez geral baseia-se na análise dos parâmetros de classe geral de uma envoltória rígida, isto é, dos parâmetros irredutíveis que descrevem a totalidade do sistema da envoltória rígida. O indicador de rigidez específica baseia-se na análise dos parâmetros de classes de componentes e de atributos, que são os parâmetros que descrevem os componentes de uma envoltória rígida a partir de seu tipo e suas propriedades. Assim, cada tipo de indicador de rigidez é atribuído desta forma à envoltória: indicador de rigidez geral atribuído a cada fachada, e indicador de rigidez específica atribuído a cada componente.

Esta atribuição do indicador de rigidez geral a cada fachada da envoltória respalda-se no método de análise da estrutura perceptiva do objeto apresentado por Gomes Filho (2008):

Este envoltório é um recurso ideal para a sistematização da orientação de leitura de qualquer objeto configurado por dois ou mais lados, faces, superfícies ou substratos contendo informações. (GOMES FILHO, 2008, p. 123)

Nota-se que o indicador de rigidez buscou produzir uma representação objetiva de dados qualitativos relacionados à rigidez de uma envoltória. Em virtude disso, o desenvolvimento do construto previu um processo de delineamento e sistematização dos parâmetros que se mostraram relevantes para rigidez de uma envoltória, bem como a especificação dos procedimentos de cálculo para ponderar e relacionar estes parâmetros.

A implementação do **modelo** (*workflow*) buscou concretizar a tentativa de design anteriormente elaborada de forma preliminar, agora, pensada para desenvolver uma abordagem computacional de projeto que tem como objetivo a representação de informações relacionadas tanto ao indicador de rigidez quanto à análise de desempenho térmico da edificação em um ambiente BIM. A construção deste modelo foi baseada no pressuposto da correlação entre os parâmetros de projeto que determinam a rigidez da imagem e os parâmetros de projeto que determinam o desempenho da envoltória, considerando a possibilidade de interseção entre estes conjuntos de parâmetros.

Para o desenvolvimento do *workflow*, foram especificadas funções pretendidas para alcançar o objetivo supracitado. Estas funções foram especificadas em prol do delineamento de requisitos fundamentais do *workflow* para que seja possível investigar o aparato ferramental com que será implementado. As funções pretendidas consistem em: 1) importação de dados; 2) filtragem de dados; 3) roteamento de dados; 4) simulação; 5) avaliação lógica; 6) cálculo; 7) representação.

Foi investigado, portanto, o aparato ferramental com que o *workflow* pode ser aplicado. Para isso, partindo do apurado na etapa de conscientização do problema informacional, foram observados os materiais e tecnologias que mostram-se

propícios para atender às funções pretendidas para o *workflow*. Mediante este critério de atender a tais funções, são definidos os *softwares* e *plugins* que compõem o aparato ferramental:

- 1) Archicad 28 (Graphisoft): ambiente BIM;
- 2) Rhino 8 + Grasshopper (McNeel): visualização de desenho vetorial e interface visual de programação para filtragem de dados, roteamento de dados, avaliação lógica e cálculo;
- 3) Grasshopper-Archicad Live Connection: interoperabilidade entre ambiente BIM e interface visual de programação (importação dinâmica de dados);
- 4) Ladybug Tools 1.8.0: simulação;
- 5) Lunchbox 2025.5.5.0: importação de dados da planilha;
- 6) Microsoft Excel: requisito para *plugin* de leitura de planilhas;
- 7) Human UI: representação gráfica.

Assim, para a interface de suporte à decisão gerada pelo *workflow*, optou-se pelo tipo *dashboard*. A fim de compor o *dashboard*, foram propostas as seguintes informações a serem representadas:

- 1) Valores do indicador de rigidez geral;
- 2) Valores do indicador de rigidez específica;
- 3) Valores ranqueados de componentes mais rígidos;
- 4) Valores ranqueados de atributos mais rígidos;
- 5) Valores de ganhos de calor;
- 6) Valores de impacto de alterações.

O quadro 4 relaciona estas informações com o aparato ferramental e os procedimentos de processamento de dados com os quais foram obtidas e incorporadas ao ambiente BIM, bem como com as suas formas de representação no *dashboard*.

Quadro 4. Procedimentos e representação das informações do *dashboard*.

<i>Informação</i>	<i>Procedimentos</i>	<i>Representação</i>
Valores do indicador de rigidez geral	<ol style="list-style-type: none"> 1) Importação de arquivo em formato .csv contendo para interface visual de programação (Grasshopper) através do plugin Lunchbox; 2) Filtragem de dados por termo (“fachada [n]”) para obtenção de valores de rigidez dos parâmetros gerais; 3) Roteamento de valores de rigidez específica dos elementos de cada fachada; 4) Cálculo dos índices de rigidez geral a partir dos <i>inputs</i> referentes a cada fachada: valor de rigidez dos parâmetros gerais e valor de rigidez específica dos elementos da fachada; 5) Representação numérica das fachadas por componente de texto na <i>viewport</i> do Rhinoceros. 	Representação numérica posicionada na fachada a qual se referem.
Valores do indicador de rigidez específica	<ol style="list-style-type: none"> 1) Importação de arquivo em formato .csv contendo valores de rigidez dos parâmetros para Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Lunchbox; 2) Filtragem de dados por termo (“componente”) para obtenção de valores de rigidez dos parâmetros de componente; 3) Filtragem de dados por termo (ex: “parede”) de valores de rigidez dos parâmetros de atributo; 4) Importação dinâmica de dados dos elementos de projeto do modelo BIM (Archicad) para ambiente de Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Grasshopper-Archicad Live Connection; 5) Avaliação lógica para associação de valores de rigidez às instâncias dos atributos dos elementos de projeto; 6) Cálculo dos índices de rigidez específica a partir dos <i>inputs</i> referentes a cada elemento: valor do parâmetro de componente e valores de rigidez de cada atributo do elemento; 7) Representação em escala de cores nos elementos de projeto a partir de remapeamento dos valores de rigidez de cada elemento. 	Gradação de cores nos elementos arquitetônicos e acompanhados de legenda.

Quadro 4. Procedimentos e representação das informações do *dashboard* (continuação).

<p>Valores ranqueados de componentes mais rígidos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Importação de arquivo em formato .csv contendo valores de rigidez dos parâmetros de classe geral para Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Lunchbox; 2) Filtragem de dados por termo (“componente”) para obtenção de valores de rigidez dos parâmetros de componente; 3) Avaliação lógica para ordenamento decrescente de valores de rigidez dos parâmetros de componente; 4) Representação dos valores ranqueados em gráfico de barras horizontais pelo <i>plugin</i> Human UI. 	<p>Gráfico de barras horizontais</p>
<p>Valores ranqueados de atributos mais rígidos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Importação de arquivo em formato .csv contendo valores de rigidez dos parâmetros para Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Lunchbox; 2) Filtragem de dados por termo (ex: “parede”) para obtenção de valores de rigidez dos parâmetros de atributo; 3) Avaliação lógica para ordenamento decrescente de valores de rigidez dos parâmetros de atributo; 4) Representação dos valores ranqueados em gráfico de barras horizontais pelo <i>plugin</i> Human UI. 	<p>Gráfico de barras horizontais</p>
<p>Valores de ganhos de calor</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Importação dinâmica de dados dos elementos de projeto do modelo BIM (Archicad) para ambiente de Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Grasshopper-Archicad Live Connection; 2) Filtragem de dados por termo para as variáveis: área de superfície opaca (Aop); área de superfície translúcida (Atr); cor externa (α); materialidade do elementos opacos para determinar a transmitância térmica (K); materialidade de elementos translúcidos para determinar o fator solar (Str) 	<p>Gráfico de setores</p>

Quadro 4. Procedimentos e representação das informações do *dashboard* (continuação).

<p>Valores de ganhos de calor</p>	<p>3) Avaliação lógica para obtenção dos valores correspondentes para cada variável;</p> <p>4) Simulação da radiação solar incidente global (I_g) em ambiente através do <i>plugin</i> Ladybug Tools, referente ao dia 22 de dezembro (solstício de verão) do período de 9 às 15 horas (cumulativo);</p> <p>5) Roteamento dos valores para cálculo de ganhos de calor por fachada e da cobertura;</p> <p>6) Cálculo dos ganhos de calor da envoltória a partir do Método C.S.T.B. (I. $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot K / h_e \cdot I_g$; II. $Q_{tr} = A_{tr} \cdot Str \cdot I_g$);</p> <p>7) Representação dos valores de ganhos de calor em gráfico de setores para fachadas e cobertura.</p>	<p>Gráfico de setores</p>
<p>Valores de impacto de alterações</p>	<p>1) Importação dinâmica de dados dos elementos de projeto do modelo BIM (Archicad) para ambiente de Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do <i>plugin</i> Grasshopper-Archicad Live Connection;</p> <p>2) Cálculo da razão entre a quantidades de parâmetros alterados e a quantidade total de parâmetros de cada elemento (utilização de componente de persistência de dados);</p> <p>3) Cálculo do impacto de alterações de cada elemento em função dos <i>inputs</i>: razão entre parâmetros alterados e parâmetros totais (percentual de alterações) e da rigidez específica;</p> <p>5) Representação em escala de cores nos elementos de projeto a partir de remapeamento dos de impacto de alterações.</p>	<p>Representados por gradação de cores com legenda</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Verificada a adequação do aparato ferramental para atender às funções pretendidas e definidas as informações a serem representadas, foi possível a observar o funcionamento do *workflow* e, deste modo, a associação do indicador de rigidez aos outros construtos: o ambiente BIM e a análise de desempenho térmico.

Com isso, foram realizados procedimentos de verificação interna de forma iterativa, com *datasets* inicialmente hipotéticos e randômicos que compreenderam informações para alimentar os componentes com que traduzem-se os construtos associados no *workflow*. Estes procedimentos de verificação interna propiciaram a identificação de possíveis ajustes e melhoramentos no *workflow*. Averiguado um grau satisfatório de consistência do fluxo de informações entre as aplicações, foi formalizado o modelo que incorpora ao processo de projeto a interface composta por peças gráficas que representam informações sobre os impactos que alterações projetuais podem causar à imagem da edificação e ao seu desempenho térmico.

Os **métodos** propostos neste trabalho têm por finalidade a operacionalização dos artefatos cuja aplicação busca-se descrever. Essa operacionalização trata-se, segundo Pruzan (2016), de um:

[...] processo pelo qual os conceitos podem ser aplicados em um nível empírico para que possam ser transformados em variáveis, ou seja, em símbolos aos quais podemos atribuir numerais ou valores com base em medições das propriedades do conceito (Pruzan, 2016, p. 119, tradução nossa).

Objetivando descrever especificações que viabilizam tal operacionalização, o desenvolvimento dos métodos envolve a definição dos microprocessos envolvidos na aplicação do indicador de rigidez e do *workflow*. Estes microprocessos são concebidos a partir da tentativa de padronização de procedimentos de operacionalização, a fim de viabilizar a replicabilidade da aplicação dos artefatos a que se referem.

O protocolo de aplicação do indicador de rigidez serve como suporte para a concepção do construto e orienta a sua aplicação na instanciação. Em vista disso, o desenvolvimento deste método envolve a descrição de cada um dos microprocessos para cada macroprocesso previsto na etapa de sugestão. Em observância às decisões tomadas para a construção do indicador de rigidez, cada processo do protocolo é descrito de forma universal, ainda de forma desassociada às decisões do modo específico com que as informações são processadas no *workflow*.

No protocolo de aplicação do *workflow*, as decisões tomadas para a sua construção trazem maior especificidade para como as informações devem ser

introduzidas a ele. Assim, precedidas de um procedimento de identificação dos parâmetros de envoltória rígida contidos no espaço intersticial de interesse do modelo conceitual de fluxo de informação, são apresentadas orientações a respeito dos *softwares* e *plugins* que integram o *workflow*, de possíveis configurações do modelo BIM e da operação do *workflow*.

A **instanciação** consistiu na aplicação dos artefatos desenvolvidos em um caso da realidade para demonstrar suas utilidades. A fim de direcionar as etapas de implementação da instanciação, é delineado um plano de aplicação dos artefatos em um caso da realidade, pelo que busca-se definir a sequência procedimental do estudo de caso onde foram aplicados os artefatos produzidos nesta pesquisa. Assim, o processo de instanciação é sucedido através das seguintes atividades principais: 1) Definição da unidade-caso (Construto); 2) Coleta e preparação de dados (Método: protocolo de aplicação do indicador de rigidez); 3) Aplicação do *workflow* (Método: protocolo de aplicação do *workflow*; Modelo: *workflow*).

A atividade de definição da unidade-caso representativa do conceito de envoltória rígida visa o estabelecimento de critérios para selecionar uma edificação que apresenta as seguintes características de forma simultânea: valor simbólico-imagético relevante para uma comunidade; histórico de alterações significativas na envoltória com impacto na imagem da edificação; necessidade de adaptação às mudanças climáticas. Assim, para definição da unidade-caso, foram estabelecidos critérios de escolha, considerando o recorte preestabelecido de edificações representativas do conceito de envoltória rígida, isto é, edificações representativas do interesse de preservação da imagem e da necessidade de adaptação às mudanças climáticas. Além dessas características, são considerados, ainda, critérios sob o ponto de vista espacial e temporal. A delimitação espacial prevê casos representativos das zonas climáticas que serão significativamente impactadas pelas mudanças climáticas. Também considera-se como critério o acesso viável para visitação. Quanto ao recorte temporal, importa considerar sua relevância para determinação de uma envoltória rígida, tendo em vista que o fator de tempo confere tanto o aspecto da memória quanto da necessidade de reformulação em função de

novas condicionantes, que, neste caso, são climáticas. A delimitação temporal associa-se, também, às práticas construtivas, materiais disponíveis e técnicas então empregadas, aspecto imprescindível para avaliação da adequação dos projetos originais às condições climáticas atuais. A função para a qual a edificação foi originalmente projetada, bem como as possíveis mudanças ao longo do tempo, também apresentam relevância para análise de adequação às demandas bioclimáticas contemporâneas.

Atendendo aos critérios estabelecidos, a unidade-caso escolhida foi o Pavilhão Reitor Martins Filho, que foi projetado por Nícia Paes Bormann em 1966 e está situado no Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design (IAUD) da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará.

Em relação à coleta de dados, uma vez que a problemática da envoltória rígida aborda a relação antagônica entre a permanência da memória e as forças de mudança impostas pelo ambiente, a pesquisa envolve diferentes naturezas de dados inseridas nos domínios metafísico e físico. Logo, a natureza dos dados coletados consistem: qualitativa, quanto aos dados referentes ao valor simbólico-imagético do Pavilhão Reitor Martins Filho; quantitativa, quanto aos referentes às propriedades que determinam os ganhos de calor no Pavilhão Reitor Martins Filho.

Os dados quantitativos utilizados nesta pesquisa são de caráter secundário, uma vez que já se encontram levantados. Estes dados incluem tanto as características do projeto arquitetônico da unidade-caso, levantadas e documentadas em uma modelagem BIM por Paiva, Diógenes e Cardoso (2015), quanto dados bioclimáticos de sua área de implantação, compreendidos em arquivo EPW (*EnergyPlus Weather*) disponibilizado no sítio *EPW Map* da plataforma *Ladybug Tools*.

Por sua vez, os dados qualitativos têm caráter primário. No levantamento dos dados qualitativos, é delimitado um grupo representativo de interesse do qual as informações sobre a percepção e memória da envoltória analisada são obtidas, como previsto no protocolo de aplicação do indicador de rigidez (Apêndice A). Por representarem o público de interesse da imagem da edificação, são indicados como

público-alvo alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo e Design para compor o grupo representativo.

A coleta tem enfoque no conjunto finito de parâmetros da envoltória rígida analisada, que segue a classificação sistêmica de parâmetros proposta para o construto: classe geral, classe de componentes e classe de atributos (seção 2.2). Objetiva-se, então, levantar os graus de rigidez que os parâmetros da envoltória rígida do caso estudado apresentam, isto é, o grau de importância que estes parâmetros assumem para a construção da imagem e memória da edificação. Portanto, os dados correspondem ao tipo ordinal e são coletados mediante aplicação de um questionário estruturado *online*, pelo qual investigam-se “regularidades entre grupos de pessoas por meio da comparação de respostas relativas a um conjunto de questões” (Zeisel, 1981 *apud* Rheingantz *et al.*, 2009).

Para coleta de dados do tipo ordinal, as questões são formuladas em formato fechado com objetivo de opinião. A coleta prevê a aplicação de questões de estimativa, que “consistem em emitir um julgamento através de uma escala com vários graus de intensidade para um mesmo item” (Marconi e Lakatos, 2003). A partir destas questões, investiga-se os graus de rigidez de cada parâmetros da envoltória rígida analisada a partir uma escala de Likert, pelo que são atribuídos graus de importância para cada parâmetro e são extraídas as métricas que indicam quais parâmetros são mais ou menos significativos para a construção da memória coletiva e da identidade da unidade-caso em estudo. Esta apreciação é sucedida a partir da memória dos participantes, sem que haja a observação da edificação.

Após a aplicação do questionário *online*, sucedem-se outras atividades que, desta vez, visam a organização dos dados coletados: codificação e tabulação. A codificação trata-se de uma técnica operacional pela qual “os dados são transformados em símbolos, podendo ser tabelados e contados” (Marconi e Lakatos, 2003), isto é, uma etapa onde é possível “transformar o que é qualitativo em quantitativo” (Marconi e Lakatos, 2003). Nesta pesquisa, uma vez que o questionário é aplicado de forma *online*, a etapa de codificação parte de um arquivo

semi-estruturado extraído da plataforma (Google Formulários) em que veicula-se a aplicação do questionário.

Os dados qualitativos sobre cada parâmetro analisado são codificados a partir de sua respectiva classe de parâmetro de envoltória rígida. Esta codificação viabiliza transformar os dados qualitativos obtidos, baseados na abstração da percepção e memória dos indivíduos do grupo representativo, em dados categorizados e quantificáveis para cada parâmetro, através da escala Likert aplicada e da análise de frequências. Com a codificação de dados, a tabulação, que trata-se da “disposição dos dados em tabelas” (Marconi e Lakatos, 2003), possibilita a realização de cálculos que agregam valores a um mesmo parâmetro, o que encontra-se previsto no protocolo de construção do indicador de rigidez.

A atividade de aplicação do *workflow* concentra-se na incorporação da coleção de dados referentes à unidade-caso ao ambiente computacional que integra o *workflow*, envolvendo os microprocessos do protocolo de aplicação do *workflow* (Apêndice B). Entre eles, o microprocesso de identificação dos parâmetros contidos no espaço intersticial de interesse previsto na construção do modelo conceitual de fluxo de informação, isto é, dos parâmetros de envoltória rígida existentes no pavilhão que influem nas variáveis que definem os ganhos de calor da envoltória. São incorporados, então, ao *workflow*: os dados de projeto (modelo BIM), os dados bioclimáticos do local da edificação (EPW), os dados da tabela de resultados do questionário.

Conforme elucidado no início desta seção, cada etapa da instanciação teve enfoque na aplicação dos artefatos. O conceito de envoltória rígida, investigado em uma unidade-caso representativa do problema que tange, foi formalizado pelos protocolos que viabilizam a aplicação do indicador de rigidez e a sua incorporação ao *workflow* que, por sua vez, aos construtos de BIM e de desempenho térmico com o construto proposto nesta pesquisa.

Foi evidenciado como os artefatos foram aplicados na instanciação: através da operacionalização do indicador de rigidez (**construto**), que foi aplicado ao processo de

projeto a partir de protocolos (**métodos**) que coordenam a coleta e análise de dados qualitativos e a incorporação destes dados, entre outros, ao *workflow* (**modelo**).

3.3.4 Avaliação

Uma vez desenvolvidos os artefatos, é sucedida a etapa de avaliação, pela qual as métricas de seus desempenhos poderão ser desenvolvidas para compará-las, a partir dos resultados, com as expectativas e demandas então definidas (Manson, 2006). Por isso, a aplicação dos artefatos em um caso da realidade visa avaliá-los a partir de informações que permitem validar, partindo das expectativas pré-definidas, a utilidade destes artefatos para mitigação do problema no estudo de caso. Com a demonstração no caso, objetiva-se avaliar os artefatos do tipo **construto** e **modelo**, uma vez que os demais artefatos, **métodos** e **instanciação**, serviram de suporte para construção e avaliação dos dois primeiros.

Foram desenvolvidas matrizes de avaliação que relacionam as expectativas pré-definidas com os resultados da performance de cada artefato a ser avaliado, a partir de procedimentos de avaliação orientados pelas seguintes questões relacionadas a cada artefato:

- 1) Construto: o indicador de rigidez atingiu seu objetivo de representar os graus de rigidez em uma envoltória de forma confiável?
- 2) Modelo: o *workflow* atingiu seu objetivo de compor abordagem computacional de projeto cujas representações de rigidez e de desempenho térmico demonstram suporte à decisão?

Hevner *et al.* (2004) *apud* Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) estabelecem diferentes formas de avaliação de artefatos. Dentre outras apontadas pelo autor, as formas para avaliar artefatos que foram aplicadas neste trabalho consistem: descritiva e experimental. A avaliação descritiva tem como finalidade a demonstração da utilidade do artefato. Para tal demonstração, “o pesquisador pode usar argumentos existentes na literatura ou construir cenários para demonstrar a utilidade do artefato” (Dresch, Lacerda e Antunes Júnior, 2015). Por sua vez, a

avaliação experimental pode ser desenvolvida a partir de experiências controladas, isto é, trata-se de um experimento controlado, pelo qual estuda-se os artefatos “em um ambiente controlado para determinar suas qualidades (por exemplo, usabilidade)” (Dresch, Lacerda e Antunes Júnior, 2015).

Correspondendo ao tipo descritiva, a avaliação do **construto** (indicador de rigidez) envolve a verificação de sua utilidade para representar o fenômeno em estudo, a partir das seguintes atividades: 1) Coleta de dados visuais, 2) Análise de frequências, 3) Normalização e comparação de dados.

A avaliação do construto baseia-se no levantamento de dados do tipo visual e utiliza-se da estratégia de mapa mental, que corresponde à “elaboração de desenhos ou relatos de memória representativas das idéias ou da imageabilidade que uma pessoa ou um grupo de pessoas têm de um determinado ambiente” (Rheingantz *et al.*, 2009). Os mapas mentais, produzidos sem a observação do objeto, podem compreender das representações mais abstratas até às mais estruturadas e de maior proximidade ao objeto analisado. Assim, após um processo de categorização das representações (simbólico, semiestruturado e estruturado), são identificados os elementos físicos presentes na representação e suas frequências registradas (Rheingantz *et al.*, 2009).

Deste modo, buscando compor uma amostragem representativa da comunidade para a qual a unidade-caso (Pavilhão Reitor Martins Filho) é significativa do ponto de vista imagético, a avaliação descritiva foi implementada com a participação de respondentes de turmas dos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo e de Design, sendo estes estudantes os mesmos respondentes do questionário *online* do qual se obtiveram os dados que alimentam o indicador de rigidez aqui avaliado.

Em um momento precedente à aplicação do questionário *online*, foi proposta aos participantes a produção de mapas mentais do Pavilhão Reitor Martins Filho sem tempo determinado, a partir do seguinte enunciado contido em fichas de desenho (Apêndice D): “Faça um desenho do Pavilhão Reitor Martins Filho, priorizando as

características que mais te fazem lembrar dele”. Após este processo, foi solicitado aos participantes que assinalem nas fichas de desenho qual (ou quais) fachada(s) foram desenhadas, com base em um diagrama onde as fachadas estão numeradas. As fichas de desenho contêm, ainda, uma área de preenchimento por parte da pesquisadora, onde foram registrados quais elementos arquitetônicos verificou-se representados em cada mapa mental.

Com esta estratégia de avaliação, buscou-se quantificar as frequências de fachadas e de elementos arquitetônicos representados pelos participantes, com o intuito de apurar métricas que apontam aqueles que, ao apresentarem maiores frequências, mostraram-se mais relevantes para a imagem e memória da edificação.

Foi possível, desta maneira, normalizar e comparar os resultados obtidos na avaliação com aqueles produzidos pelo indicador de rigidez, que é alimentado pelos dados obtidos pelo questionário *online*, e, por fim, verificar se as fachadas e elementos arquitetônicos com maiores indicadores de rigidez correspondem àqueles com maiores frequências de desenho.

A avaliação do *modelo* (*workflow*) classifica-se como experimental do tipo simulação, sendo implementada por meio de um exercício de projeto auxiliado pelas peças gráficas do *dashboard* produzido pelo *workflow*. Assim, esta avaliação se sucede com as atividades: 1) Proposições de alterações de projeto sem visualização do *dashboard*; 2) Apreciação das proposições com visualização do *dashboard*; 3) Construção de matriz de análise F.O.F.A.

O exercício de projeto é realizado com um grupo representativo da classe para a qual a representação da informação fornecida pelo *workflow* faz-se relevante, tendo como público-alvo alunos da disciplina de Condicionamento Ambiental 2, que, no momento desta avaliação, integravam o 5º semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará. O perfil dos alunos desta disciplina alinha-se ao objetivo da avaliação, à medida que esta disciplina tem enfoque no estudo da geometria da insolação, abordando, ainda, o método C.S.T.B. de cálculo de ganhos de calor.

Nesta avaliação, é proposto um exercício de projeto arquitetônico, pelo que são estudadas e testadas as possibilidades de alterações projetuais na envoltória. Nesse sentido, o exercício de projeto aplicado aos participantes se sucede em dois momentos:

- 1) Um momento inicial em que são propostas alterações de projeto para melhorar o desempenho da envoltória em relação aos seus ganhos de calor, de modo a preservar, ainda, suas características simbólicas (de forma livre e com os conhecimentos prévios dos participantes);
- 2) Um segundo momento para reflexão acerca das alterações propostas, desta vez, com a visualização do *dashboard* produzido pelo *workflow* que contém peças gráficas que visam dar suporte às decisões de projeto.

Estes dois momentos do exercício são registrados pelos participantes, por meio de uma discussão do com o grupo guiada pelas questões: Houveram alterações repensadas no segundo momento? Quais?

Observando, então, as representações fornecidas pelo *workflow* que indicam visualmente os elementos mais ou menos rígidos, bem como os impactos das modificações de projeto para a imagem e para os ganhos de calor, os participantes devem avaliar o modelo com uma matriz de análise F.O.F.A. a partir de seus eixos avaliativos (forças, oportunidades, fraquezas e ameaças).

Forças (Strengths) são pontos fortes: Vantagens internas da organização ou produto em relação às empresas ou produtos concorrentes; Fraquezas (Weaknesses) são pontos fracos: Desvantagens da organização ou produto em relação às empresas ou produtos concorrentes; Oportunidades (Opportunities) são oportunidades: Aspectos positivos do ambiente externo que podem fazer com que o produto tenha maior competitividade; Ameaças (Threats) são ameaças: aspectos negativos do ambiente que podem comprometer a competitividade do produto ou empresa. (Pazmino, 2018, p. 85)

Esta avaliação permitiu avaliar a utilidade do modelo com a observação de como este se comporta em um cenário de prática arquitetônica e no suporte à tomada de decisão.

3.3.5 Conclusão

Na etapa de conclusão da DSR, os resultados da pesquisa são analisados e concretizados como conhecimento científico. Neste momento, segundo Manson (2006), é realizada uma síntese das inferências e dos subprodutos de todas as fases da pesquisa, além da divulgação das contribuições do trabalho para a classe de problema nele investigada.

Com este intuito de consolidação e disseminação do conhecimento gerado, são promovidas publicações de artigos científicos e apresentações em eventos acadêmicos para apresentação das descobertas advindas da instanciação e avaliação dos artefatos, a fim de atingir o público de interesse da temática da envoltória rígida.

Nesta pesquisa, a produção de artigos científicos está alinhada ao tipo de suas contribuições: teórica e prática. Trazendo contribuições teóricas da pesquisa, o artigo publicado na conferência SIGraDi (Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital) em 2024 instaura o conceito de envoltória rígida com respaldo em uma revisão sistemática da literatura (Araújo *et al.*, 2024).

Quanto à divulgação das contribuições práticas, prevê-se a elaboração de artigos que registrem tais contribuições e sintetizem as inferências obtidas com a aplicação dos artefatos em uma instanciação e as suas utilidades para a solução do problema estudado.

4. RESULTADOS

4.1 Proposta

Como produto da etapa de conscientização do problema, que foi estudado em suas diferentes naturezas (contextual, ontológica e informacional), o Quadro 5 elenca os trabalhos que compõem o arcabouço teórico da pesquisa, bem como a definição dos conceitos-chave nos quais esta se baseia.

Neste quadro, os trabalhos são categorizados de acordo com suas contribuições para a compreensão de cada natureza do problema em estudo: para o problema contextual, os trabalhos que abordam as transformações socioespaciais e a iminência de adaptação frente às mudanças climáticas; para o problema ontológico, os trabalhos que contribuem para a compreensão do fenômeno da envoltória rígida; para o problema informacional, os trabalhos que exploram o potencial de abordagens existentes para visualização e modelagem da informação no processo de projeto.

Quadro 5. Conscientização do problema.

<i>Autor</i>	<i>Contribuições</i>	<i>Problema contextual</i>	<i>Problema ontológico</i>	<i>Problema informacional</i>
Andrade (2012)	Elabora estudos sobre o projeto digital baseado no desempenho.			X
Andrade e Ruschel (2009)	Apresenta os conceitos basilares em torno do BIM e o cenário das pesquisas publicadas no Brasil.			X
Araújo <i>et al.</i> (2024)	Noções sobre envoltórias, preservação de edifícios históricos de valor simbólico e a necessidade de adaptá-los frente às transformações socioespaciais e estímulos externos (mudanças climáticas).		X	
Bahia (2021)	Apresenta guia referencial para construção e análise de indicadores.			X
Brasil (2018)	Apresenta guia metodológico para a elaboração de indicadores.			X
Bertalanffy (1975)	Apresenta conceituações sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).	X	X	X

Quadro 5. Conscientização do problema (continuação).

<i>Autor</i>	<i>Contribuições</i>	<i>Problema contextual</i>	<i>Problema ontológico</i>	<i>Problema informacional</i>
Carvalho, Cunha e Oliveira (2021)	Reflete a dificuldade de se alcançar níveis mais altos de certificações de desempenho energético em edificações históricas, pela descaracterização de elementos arquitetônicos.	X	X	
Ching (1998)	Traz uma visão geral dos elementos, sistemas e organizações básicos que compõem uma obra de arquitetura, inter-relacionados para formarem um todo integrado que contenha uma estrutura unificadora e coerente.		X	
Costa, Silva e Neto (2020)	Apresenta passo a passo para análise de desempenho com o método C.S.T.B.			X
ELETROBRÁS/ PROCEL, INMETRO, (2017); ELETROBRÁS/ PROCEL, INMETRO e CB3E (2022)	Definição de “envoltória” e explicação do método de determinação da eficiência da envoltória (IC _{env}).	X	X	
ENAP (2013)	Orienta a elaboração de indicadores.			X
Eastman <i>et al.</i> (2018)	Estabelece e descreve duas principais características em que a abordagem BIM se baseia: a modelagem paramétrica e a interoperabilidade.			X
Frazer (1995)	Relaciona a TGS na arquitetura com uma solução para problemas ambientais, propondo que os sistemas arquitetônicos sejam responsivos ao ambiente real e evoluam em consonância aos processos naturais.		X	
Frota e Schiffer (2007)	Apresenta o método de cálculo de previsão de desempenho térmico mais aplicável: o método C.S.T.B. (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - de Paris).	X		X
Gomes <i>et al.</i> (2014)	Apresenta conceituações sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).	X	X	
Gomes Filho (2008)	Discorre sobre o estudo da Gestalt, teoria sobre o fenômeno da percepção da forma.		X	
Kalay (1999)	Introduz à discussão sobre modelos de projeto o conceito de desempenho.			X

Quadro 5. Conscientização do problema (continuação).

<i>Autor</i>	<i>Contribuições</i>	<i>Problema contextual</i>	<i>Problema ontológico</i>	<i>Problema informacional</i>
Lamberts, Dutra e Pereira (2014)	Disserta sobre arquitetura bioclimática e eficiência energética.	X		
Lawson (2011)	Aponta a representação como pertencente ao conjunto de habilidades inerentes ao exercício projetual, de uso habitual e onde se reorganiza e representa as informações sobre o programa ou o problema.		X	X
Lima (2016)	Elabora estudos sobre o modelo de projeto baseado em desempenho e o apoio à decisão multicritério.			X
Lynch (1960)	Disserta sobre as relações das pessoas com os lugares que elas frequentam, desenvolvendo determinadas associações com partes da cidade e impregnando de memória e significados a imagem que fazem dela.		X	
Menges e Ahlquist (2011)	Relaciona a TGS com o projeto computacional, sendo sua compreensão requisito para o desenvolvimento de modelos preditivos.		X	X
Mitchell (2008)	Apresenta conceituações sobre TGS e métodos para a descrição física do objeto, estruturas de combinação e regras gramaticais, que permitem segmentar composições arquitetônicas em partes e estabelecer relações entre as suas propriedades.		X	
Nardo <i>et al.</i> (2005)	Orienta a elaboração de indicadores compostos.			X
Nöth (1998)	Apresenta noções sobre semiótica e a classificação peirceana dos signos.		X	
Oxman (2006)	Desenvolve uma categorização de modelos de projeto digital, dentre eles, o modelo de projeto digital baseado em desempenho.			X
Pizza Junior (1986)	Apresenta conceituações sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).		X	
Santos e Villa (2021)	Exemplifica como produzir um mapa interativo de zonas no qual cada cor representa uma resposta na escala de cores, com artefato em sistema BIM (<i>Building Information Modelling</i>).			X

Quadro 5. Conscientização do problema (continuação).

<i>Autor</i>	<i>Contribuições</i>	<i>Problema contextual</i>	<i>Problema ontológico</i>	<i>Problema informacional</i>
Torres, Brasileiro e Silvano (2023)	Disserta sobre intervenções arquitetônicas visando uma melhoria de desempenho energético, memória construtiva e valor patrimonial.	X	X	
Trummer (2011)	Identifica uma dualidade relacionada à natureza das propriedades das primitivas arquitetônicas (métricas e não-métricas), disserta sobre morfogênese e apresenta o termo <i>Unfolding</i> .		X	
Tufte (2001)	Demonstra o potencial de peças gráficas para transformação de dados em informação.			X
Uyemov (1975)	Propõe postulado que estabelece sistema (S) como um conjunto ou agregado de coisas (m) cujas relações (R) geram propriedades (P) compartilhadas: (m) $S =_{df} [R(m)]P$.		X	X
Vieira (2000)	Apresenta conceituações sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).		X	X
Vieira (2007)	Discorre sobre como a “dilatação do <i>umwelt</i> ”, que objetiva amplificar ou modificar o modo de captação de informações, torna-se pouco viável para edificações com envoltória rígida, podendo implicar em descaracterizações físicas na envoltória.		X	X

Fonte: elaborado pela autora.

A proposta resultante desta etapa de conscientização do problema corresponde à hipótese de pesquisa, apresentada previamente no Capítulo 1:

A construção de um conjunto de artefatos que buscam viabilizar a representação da rigidez em envoltórias arquitetônicas pode fundamentar diretrizes projetuais guiadas por dados para respaldar intervenções. Em vista da natureza quali-quantitativa dos dados relacionados a uma envoltória rígida, estes artefatos podem agregar análises qualitativas, referentes ao fator imagético, com métricas objetivas que mensuram o desempenho térmico da edificação.

Esta hipótese pressupõe o potencial de solução atrelado à concepção de um conjunto de artefatos, cujo objetivo principal é viabilizar a representação da rigidez em envoltórias arquitetônicas.

4.2 Tentativa de design

Como produtos da etapa de sugestão, são apresentadas, nesta seção, as tentativas de design para cada um dos artefatos propostos na pesquisa.

4.2.1 Construto

O conceito de envoltória rígida consiste em um fenômeno resultante das forças de mudança e de permanência que coexistem na edificação, o qual atribui à envoltória as funções simultâneas: função reguladora das trocas de matéria e energia (física) e função consolidadora da imagem (metafísica).

Com a finalidade de representar o espectro da rigidez a partir de graus convencionados, foi proposta a construção de um indicador de rigidez com base em parâmetros de uma envoltória rígida para verificar quais desses parâmetros estão mais ou menos adeptos a modificações, servindo de suporte à tomada de decisão. Buscando uma representação objetiva de dados qualitativos relacionados à rigidez de uma envoltória, este indicador permite o estabelecimento de diretrizes projetuais para respaldar intervenções de forma guiada por dados.

4.2.2 Modelo

O modelo conceitual de fluxo de informação aqui apresentado tem como objetivo fundamental conceitualmente o *workflow* que associa o construto envoltória rígida com outros construtos que, na etapa de conscientização do problema, mostraram-se relevantes para viabilizar possíveis soluções do problema. Mais especificamente, este modelo tem enfoque em representar a incorporação do construto envoltória rígida ao processo de projeto e sua relação com outros objetivos projetuais, de modo a prever a possibilidade de associar, em um modelo, a análise qualitativa relacionada aos valores imagéticos com métricas objetivas de dados

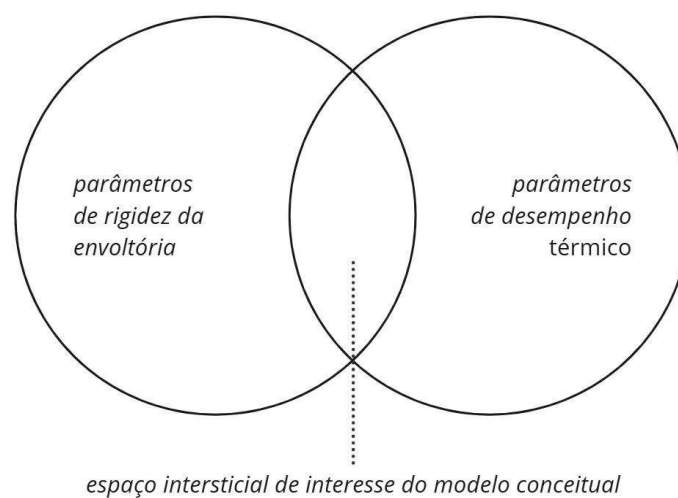
relacionados ao desempenho da envoltória. Os construtos a serem associados com a envoltória rígida correspondem, deste modo, ao desempenho térmico e ao BIM.

O desempenho térmico surge, na conscientização do problema, como objetivo relevante do projeto contemporâneo (Alves, Gonçalves e Duarte, 2021; Cavalcanti e Alvim, 2020; Alves, 2020; Guarda, Durante e Callejas, 2018). Carvalho, Cunha e Oliveira (2021) corroboram a dificuldade de conciliar os objetivos da preservação e da eficiência energética, à medida que as possibilidades de modificações são limitadas na edificação, sobretudo em suas envoltórias.

Assim, evidencia-se que existe uma equivalência entre os parâmetros de projeto que determinam a rigidez da envoltória e os parâmetros de projeto que determinam o desempenho térmico. Esta equivalência, que considera-se situada em um espaço intersticial de parâmetros (Figura 7), é o foco do modelo conceitual de fluxo de informação.

Dada a multiplicidade de parâmetros de projeto que lida o intuito de representar a rigidez e o desempenho térmico de uma envoltória, torna-se imperativa a utilização de uma abordagem paramétrica de projeto (BIM), cuja função concentra-se sobretudo na gestão das informações relevantes para estes objetivos.

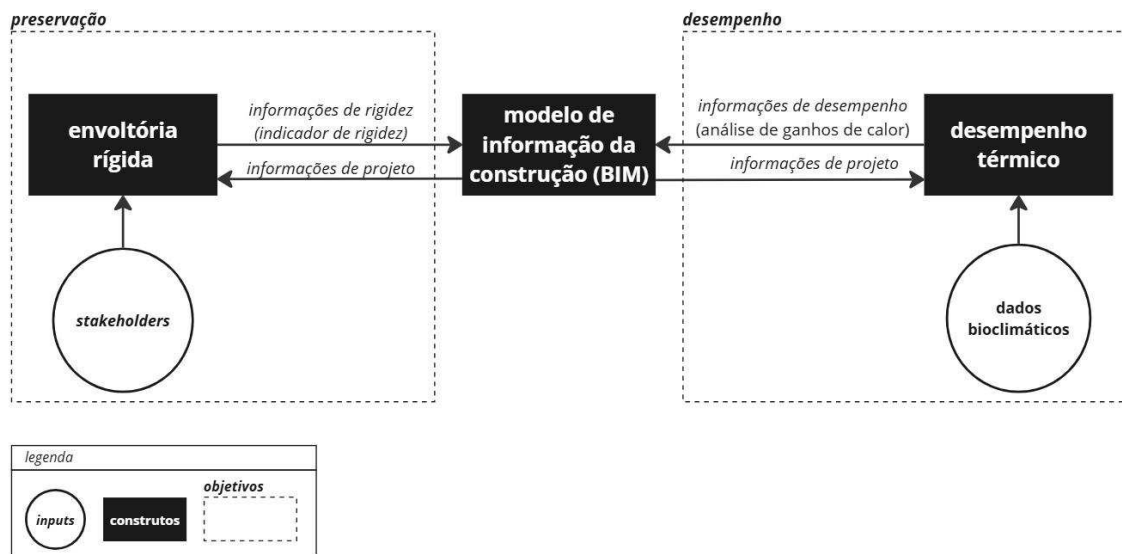
Figura 7. Espaço intersticial de parâmetros de envoltória rígida e de desempenho térmico.



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, associa-se o construto envoltória rígida, em sua representação formal por um indicador, com a análise de desempenho térmico, sendo estes incorporados a um ambiente de projeto BIM que viabiliza a gestão e representação de informações para suporte à decisão (Figura 8).

Figura 8. Diagrama: estrutura do modelo conceitual de fluxo de informação.



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo, os objetivos de projeto da preservação e do desempenho englobam os seus respectivos construtos (envoltória rígida e desempenho térmico), bem como suas fontes de informações, que correspondem, respectivamente, aos agentes que competem à construção da memória coletiva da imagem da edificação e interessados na sua preservação (*stakeholders*) e aos dados ambientais relativos à análise de desempenho térmico (dados bioclimáticos).

4.2.3 Métodos

Propõe-se o conjunto ordenado de macroprocessos necessários para o protocolo de aplicação do indicador de rigidez: 1) identificação: definição dos parâmetros de envoltória rígida da edificação analisada; 2) consulta: estratégia para coleta de dados; 3) análise: procedimentos de análise e interpretação dos resultados

para gerar valores de rigidez; 4) atribuição: organização dos valores de rigidez para associar a cada elemento analisado (componente ou fachada); 5) cálculo: definição de expressões para mensurar o grau de rigidez do elemento analisado.

Por sua vez, o protocolo de aplicação do *workflow* apresenta os seguintes macroprocessos: 1) Instalação de softwares e plugins; 2) Configuração do modelo BIM; 3) Operação do *workflow* e visualização de resultados.

4.3 Artefatos

Como produtos da etapa de desenvolvimento, esta seção apresenta os artefatos propostos nesta pesquisa.

4.3.1 Construto

O construto envoltória rígida, em seu eixo conceitual, pode ser expressado a partir das inferências apresentadas ao final do Capítulo 2:

- 1) A rigidez de uma envoltória é um espectro resultante da negociação das primitivas arquitetônicas que a compõem;
- 2) Assim como qualquer sistema aberto complexo, o sistema da envoltória rígida está submetido às condicionantes do ambiente, sejam elas físicas ou metafísicas, que moldam este sistema em um processo evolutivo;
- 3) A associação dos núcleos semânticos estudados (envoltória e rigidez) revela uma natureza simultânea e potencialmente conflitual de interesses: da adaptação e da permanência;
- 4) Essa natureza conflitual decorre do fato de que tanto a rigidez quanto o desempenho térmico da edificação são diretamente determinados por parâmetros de projeto pertencentes à envoltória.

A partir dos valores de graus de rigidez conferidos a cada parâmetro e atribuídos a cada elemento analisado, é possível calcular os indicadores de rigidez geral (I) e específica (II) a partir das expressões:

$$\text{I.} \quad \mathbf{IR_g = ((\Sigma IR_e / n_c) + (\Sigma P_g / n_{pg})) / 2}$$

Onde:

IR_g = Indicador de rigidez geral

IR_e = Indicadores de rigidez específica

P_g = Valores de grau de rigidez dos parâmetros de classe de geral identificados na envoltória

n_c = Quantidade de componentes analisados na fachada

n_{pg} = Quantidade de parâmetros de classe geral identificados na envoltória

$$\text{II.} \quad \mathbf{IR_e = \Sigma ((2 Pa_i + Pc) / 3) / na}$$

Onde:

IR_e = indicador de rigidez específica

Pc = Valor de grau de rigidez do parâmetro de classe de componentes identificado na envoltória

Pa = Valores de grau de rigidez dos parâmetros de classe de atributos identificados na envoltória

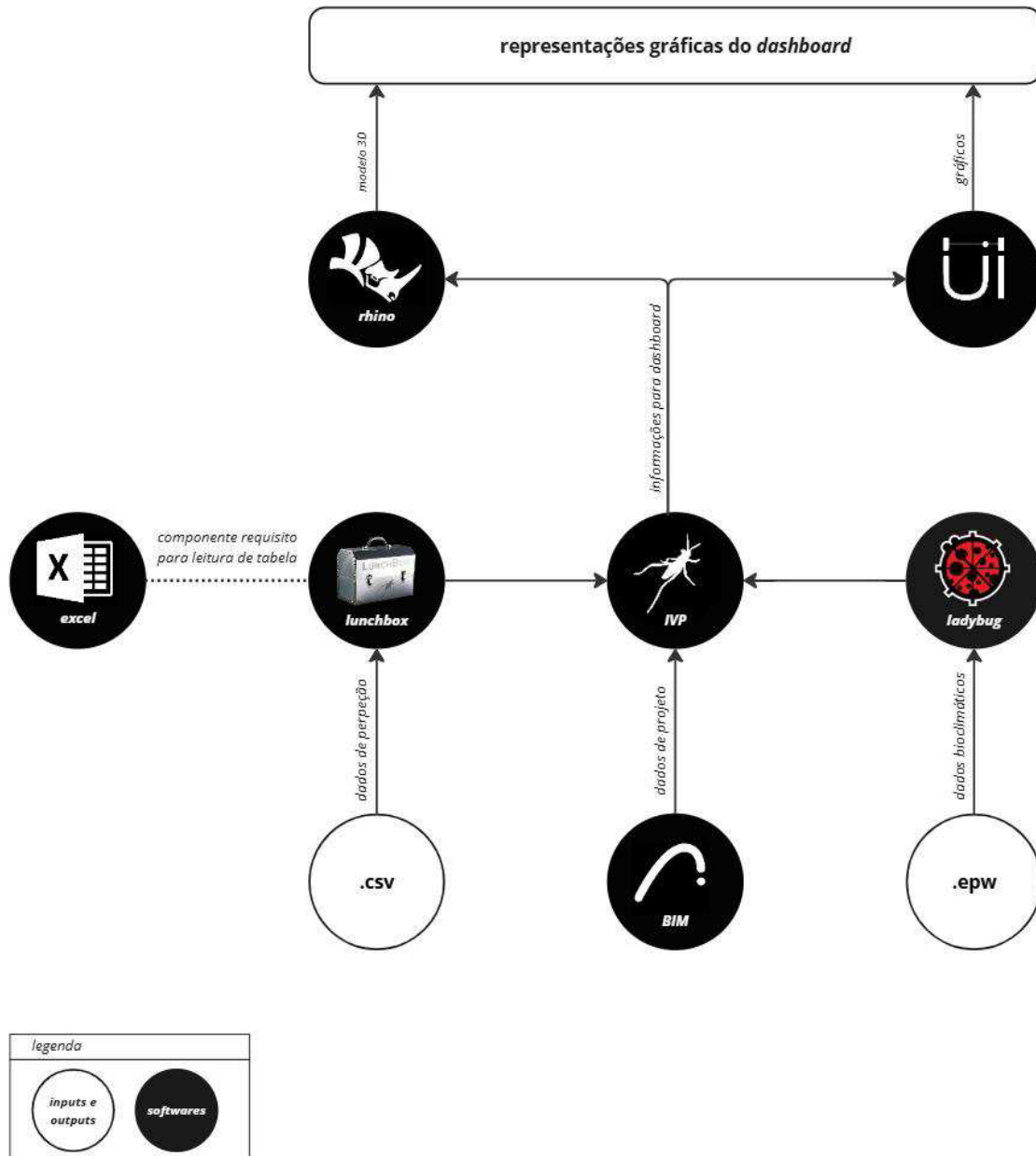
i = iterador do índice de elementos pertencentes a conjunto Pa

na = Quantidade de parâmetros de classe de atributos identificados na envoltória

4.3.2 Modelo

Deste modo, o *workflow* é estruturado conforme observa-se na Figura 9.

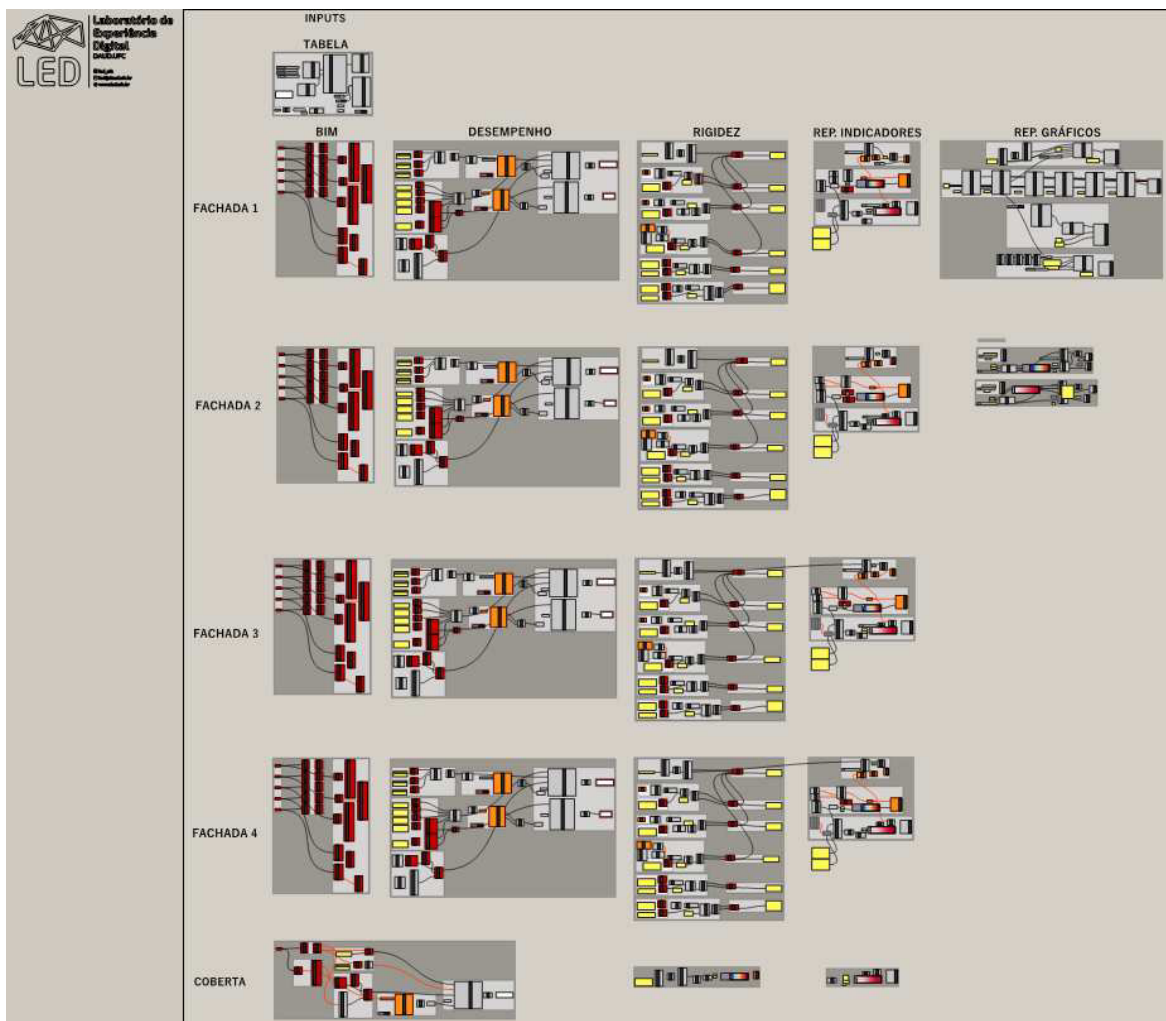
Figura 9. Estrutura do *workflow*.



Fonte: Elaborado pela autora.

Apresenta-se como produto final uma interface de suporte à decisão do tipo *dashboard* em um ambiente BIM de modelagem. Na interface visual de programação (Grasshopper), as diferentes seções de processamento de dados são organizadas por colunas, em função de etapas do processamento, e por linhas, e em função de planos simples da construção, isto é, por fachadas e cobertura. Ainda em seu estado *default* e sem dados empíricos de um projeto arquitetônico real, é possível constatar esta estrutura e o modo com que o fluxo de dados se sucede (Figura 10).

Figura 10. Organização de seções de processamento de dados na interface visual de programação .



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Métodos

Os métodos produzidos nesta pesquisa consistem no protocolo de aplicação do indicador de rigidez e no protocolo de aplicação do *workflow*. Nesta seção, consolidam-se os macroprocessos especificados na etapa de sugestão, bem como são descritos os microprocessos compreendidos na operacionalização dos artefatos.

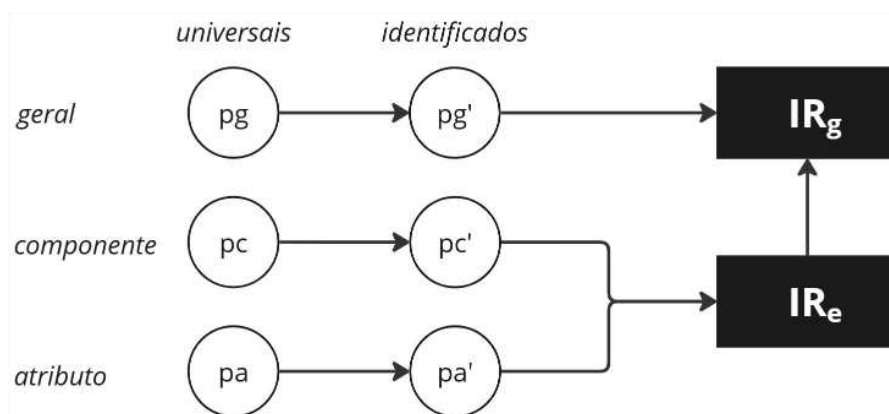
O protocolo de aplicação do indicador de rigidez (Apêndice A) dispõe dos seguintes macroprocessos ordenados: 1) identificação: definição dos parâmetros de envoltória rígida da edificação analisada; 2) consulta: estratégia para coleta de dados; 3) análise: procedimentos de análise e interpretação dos resultados para gerar valores de rigidez; 4) atribuição: organização dos valores de rigidez para associar a cada elemento analisado (componente ou fachada); 5) cálculo: definição de expressões para mensurar o grau de rigidez do elemento analisado.

Conforme previsto no processo de construção do indicador de rigidez, sua aplicação prevê o apontamento dos indicadores que o compõem (parâmetros de envoltória rígida).

Assim, uma vez iniciada a análise destes parâmetros em uma envoltória específica, diferem-se os parâmetros universais de envoltória rígida, apresentados pela coleção que consta no Apêndice A, daqueles parâmetros identificados da envoltória rígida analisada, conforme o tipo de desempenho que se deseja alcançar (espaço intersticial do modelo na Figura 7).

A Figura 11 explicita a relação entre as classes de parâmetros de envoltória rígida e os tipos de rigidez analisada por cada indicador de rigidez, bem como a etapa de identificação do conjunto finito dos parâmetros existentes na envoltória analisada.

Figura 11. Diagrama: Relação entre classes de parâmetros e índices de rigidez geral e específica



Fonte: Elaborado pela autora.

Onde:

pg: parâmetros universais de classe geral

pc: parâmetros universais de classe de componentes

pa: parâmetros universais de classe de atributos

pg': parâmetros de classe geral identificados na edificação

pc': parâmetros de classe de componentes identificados na edificação

pa': parâmetros de classe de atributos identificados na edificação

IR_g: indicador de rigidez geral

IR_e: indicador de rigidez específica

Então, seguidamente desta etapa de identificação, é possível implementar uma consulta, através de estratégia de questionário, a um grupo representativo de interesse, do qual as informações sobre a percepção e memória da edificação analisada auxiliarão na definição de graus de rigidez que são atribuídos às fachadas da edificação (indicador de rigidez geral) e aos componentes (indicador de rigidez específica). Estes graus de rigidez, originalmente subjetivos, são concretizados em valores ordinais através de uma escala Likert de apreciação (1 a 5).

A partir desta etapa de consulta, a cada parâmetro é conferido um grau de rigidez, com uma análise dos dados que baseia-se na média aritmética dos valores ordinais conferidos pela escala Likert. Os valores finais obtidos por essa etapa expressam os graus de rigidez de cada parâmetro, intitulados como “valores de rigidez”.

É realizada, em seguida, uma etapa de atribuição dos valores de grau de rigidez, pela qual são organizados os valores de grau de rigidez e associados a cada elemento analisado (componente ou fachada),

Uma vez que cada valor de rigidez é conferido aos elementos a que correspondem, o cálculo do indicador de rigidez é realizado, em suas expressões geral e específica (seção 4.3.1).

Por sua vez, o protocolo de aplicação do *workflow* (Apêndice B) apresenta os seguintes macroprocessos: 1) Instalação de *softwares* e *plugins*; 2) Configuração do modelo BIM; 3) Operação do *workflow* e visualização de resultados.

Este protocolo traz consigo a especificação do tipo de desempenho que se pretende analisar. Portanto, prevê uma atividade prévia de seleção dos parâmetros de interesse de análise, que correspondem aos parâmetros de envoltória rígida contidos no espaço intersticial de interesse do modelo conceitual de fluxo de informação.

A partir disso, os microprocessos contidos na atividade de instalação de *softwares* e *plugins* relacionam-se com a preparação dos ambientes computacionais necessários para a implementar o *workflow*. Esta preparação envolve a verificação das versões dos *softwares*-base e de seus *plugins*, cuja compatibilidade é uma condição obrigatória para o funcionamento do *workflow*. Destacam-se, ainda, os requisitos computacionais mínimos recomendados pelas empresas desenvolvedoras dos *softwares* e *plugins*, visando a execução adequada dos processos computacionais inerentes à utilização do *workflow*.

Quanto à configuração do modelo BIM, é apontada uma série de verificações do modelo para a leitura correta das informações de projeto, o que inclui: o nível de desenvolvimento (LOD)³, a utilização de template de modelagem BIM, a criação de

³ As definições básicas de LOD, desenvolvidas pela *American Institute of Architects* (AIA), permitem classificar graus de desenvolvimento de modelos BIM (BIMFORUM, 2015) e, nada obstante, vêm sendo substituídas pelo LOIN (*Level of Information Need*) (ISO 19650). No entanto, uma vez que LOIN trata-se de um conceito em emergência, optou-se utilizar a classificação de LOD por ainda ser amplamente utilizada e propícia para o protocolo que busca a replicabilidade.

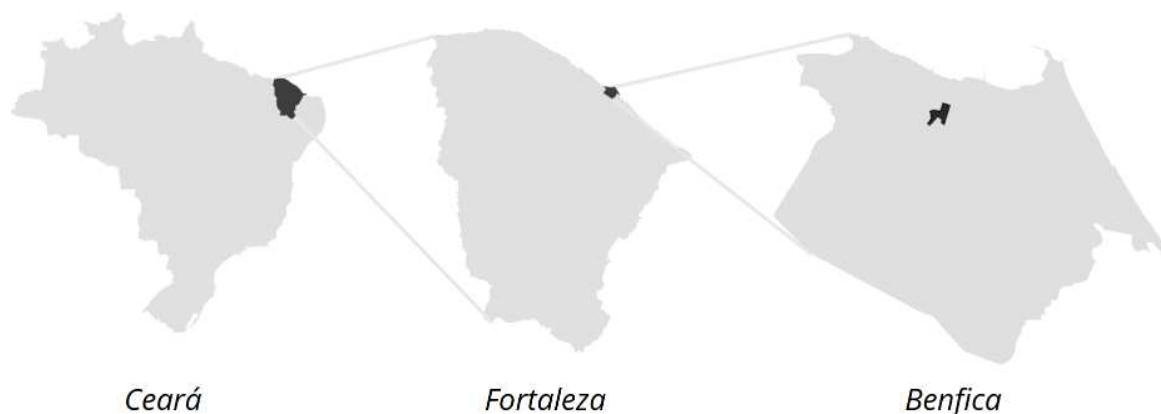
propriedades personalizadas e o emprego de termos preestabelecidos para algumas informações de projeto.

Finalmente, a operação do *workflow* prevê o estabelecimento da conexão em tempo real entre o modelo BIM e a interface visual de programação, o que deve ser procedido a partir do modo predefinido de seleção dos elementos BIM por fachada. Este processo prevê, ainda, a familiarização com a estrutura do processamento de dados na interface visual de programação, pela qual é possível operar o *workflow* com maior controle e compreensão da relação dos dados de *input* com as peças gráficas produzidas (*output*).

4.3.4 Instanciação

O caso representativo do conceito de envoltória rígida é o Pavilhão Reitor Martins Filho, que situa-se no centro do pátio do Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design (IAUD) da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado no Campus do bairro Benfica, em Fortaleza, Ceará (Figura 12).

Figura 12. Mapa diagramático de localização do Pavilhão Reitor Martins Filho.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de IBGE (2024).

Integrando o conjunto de edificações modernas do Ceará, o pavilhão foi projetado por Nícia Paes Bormann em 1966 e trata-se de um dos primeiros edifícios a serem construídos no Campus Benfica (Martins e Silveira, 2021) (Figura 13).

Desde sua construção, o pavilhão passou por intervenções que tiveram impactos perceptíveis em suas fachadas, com destaque àquelas implementadas nos anos de 2003, 2008 e 2015.

Com relação à reforma que ocorrera em 2015, Nícia Bormann declarou: "Com a reforma, eles mantiveram a essência do prédio, mas fizeram alterações. Ficou muito bom". A autora do projeto original ressalta, ainda, que a intenção do projeto se manteve: "A ideia era de um espaço livre, com ateliês abertos, que se comunicam entre si" e de que o prédio não fosse um edifício isolado, mas que se adequasse ao espaço onde está colocado (Duarte, 2015).

Figura 13. Pavilhão Reitor Martins Filho



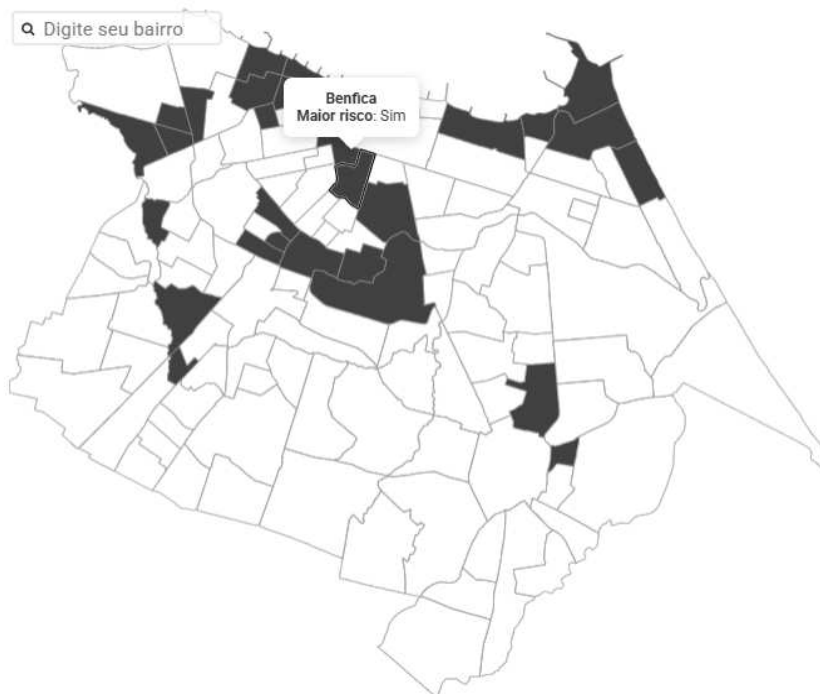
Fonte: Museu de Arte da Universidade Federal do Ceará (MAUC) *apud* Martins e Silveira, 2021.

Isto posto, destaca-se a representatividade do Pavilhão Reitor Martins Filho para a investigação sobre a rigidez das envoltórias, em visto das diferentes alterações que a edificação passou ao longo do tempo, sejam estas estruturais ou programáticas, de modo que não verificaram-se descaracterizações de sua identidade como um todo.

Nada obstante, as demandas contemporâneas de adequação às temperaturas globais exigem novas análises no que diz respeito ao desempenho térmico. A cidade de Fortaleza, onde localiza-se o pavilhão, insere-se na zona bioclimática 8 (ABNT, 2005) e na zona climática do tipo tropical semi-árido (IBGE, 2002), que enfrenta de forma especialmente significativa o aumento de temperatura registrado nas últimas décadas em virtude, além da intensificação das mudanças climáticas, de sua proximidade à Linha do Equador. A cidade de Fortaleza apresenta temperatura média de 27°C e que oscila entre 22°C e 32°C, mas que já alcançou picos de mais de 34°C em 2024, possuindo previsões de se tornar 4°C mais quente e ter 40% mais chuvas até 2100, de acordo com o portal Climate Information (Falconery, 2023). Ademais, o bairro Benfica foi classificado como uma das áreas de maior risco da cidade no Índice de Risco às Mudanças de Temperatura no seguinte infográfico do Diário do Nordeste (Paulino, 2024).

Figura 14. Índice de Risco às Mudanças de Temperatura de Fortaleza.

Estudo inclui toda a cidade, mas especialmente áreas com pouca cobertura vegetal



Fonte: Adaptado de Diário do Nordeste (2024).

Nesse sentido, nota-se a representatividade do Pavilhão Reitor Martins Filho como unidade-caso para investigar a classe do problema tocante à rigidez das envoltórias e à necessidade de adaptação às mudanças climáticas.

Concretizada a etapa de definição da unidade-caso, foram conduzidos os procedimentos de coleta de dados. A partir da modelagem BIM do Pavilhão Reitor Martins Filho (Paiva, Diógenes e Cardoso, 2015), são obtidas informações de projeto relevantes tanto para o cálculo de ganhos de calor da envoltória do pavilhão quanto para o indicador de rigidez. Assim, são identificados os parâmetros de envoltória rígida contidos no espaço intersticial de interesse do modelo conceitual de fluxo de informação.

Quadro 6. Identificação de parâmetros contidos no espaço intersticial do modelo conceitual de fluxo de informação.			
-	<i>parâmetros gerais</i>	<i>parâmetros de componentes</i>	<i>parâmetros de atributos</i>
Aop	Relações de cheio e vazio	Parede	Dimensões (altura, largura,)
		Cobertura	Dimensões (comprimento, largura)
		Pilares	Dimensões (dimensões da seção, altura)
		Vigas	Dimensões (dimensões da seção, comprimento)
		Portas e janelas	
α	-	Parede	Materialidade/acabamentos externos (cor)
		Cobertura	Materialidade/acabamentos externos (cor)
		Pilares	Materialidade/acabamentos externos (cor)
		Vigas	Materialidade/acabamentos externos (cor)
	-	Parede	Dimensões (espessura) Sistema construtivo
		Cobertura	Dimensões (altura) Sistema construtivo

Quadro 6. Identificação de parâmetros contidos no espaço intersticial do modelo conceitual de fluxo de informação (continuação).			
K	-	Pilares	Dimensões (dimensões da seção) Sistema construtivo
		Vigas	Dimensões (dimensões da seção) Sistema construtivo
he	-	Parede	-
		Cobertura	
lg	Relação com o entorno Relação com o ambiente natural	Parede	Orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste)
		Cobertura	Orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) Inclinação
Atr	-	Portas (se translúcidas)	Dimensões (altura, largura) Folhas (opaca, translúcida, permeável, impermeável, mista, uniforme, com grid)
		Janelas (se translúcidas)	Dimensões (altura, largura) Folhas (opaca, translúcida, permeável, impermeável, mista, uniforme, com grid)
		Elementos vazados	
Str	-	Portas (se translúcidas)	Materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
		Janelas (se translúcidas)	Materialidade/acabamentos externos (cor, textura)

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme previsto no protocolo de aplicação do *workflow*, a modelagem BIM passou por verificações que objetivaram a leitura correta de suas informações.

Figura 15. Modelo BIM do Pavilhão Reitor Martins Filho



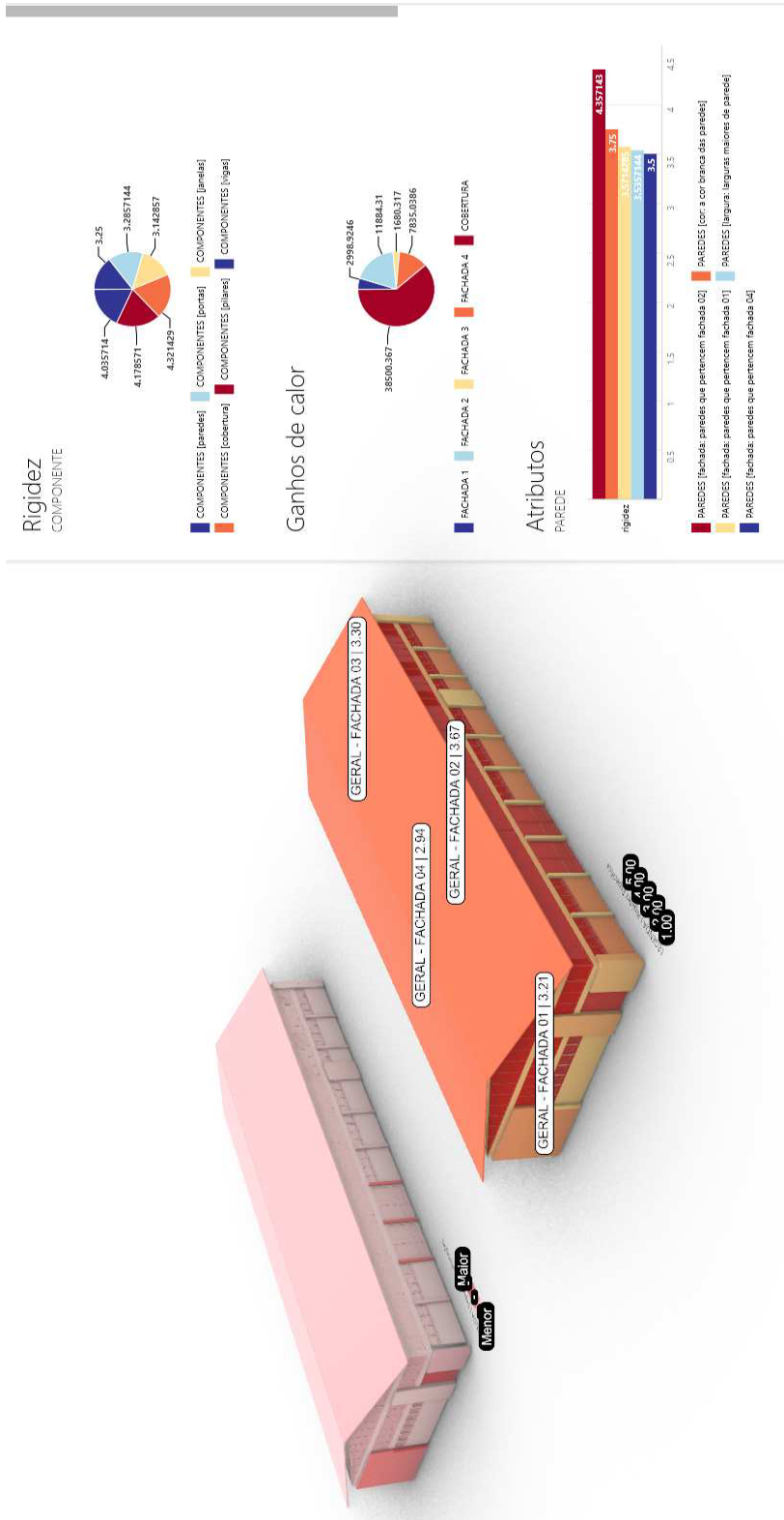
Fonte: Elaborado pela autora a partir de Paiva, Diógenes e Cardoso (2015).

Como dados de entrada para o cálculo dos ganhos de calor, o arquivo EPW utilizado corresponde ao da estação meteorológica situada no Aeroporto Internacional de Fortaleza Pinto Martins. Esta estação é a mais próxima do bairro Benfica, onde o pavilhão está situado.

Para coleta de dados qualitativos, foi aplicado o questionário *online* pela plataforma Google Formulários (Apêndice C), pelo qual foram obtidos os dados qualitativos relativos à percepção dos participantes quanto à imagem do Pavilhão Reitor Martins Filho. Estes dados foram estruturados em uma planilha de forma automática pela plataforma Google Formulários (Apêndice E) e extraídos em um arquivo de formato .csv.

Mediante a obtenção dos dados necessários para alimentar o *workflow*, é possível incorporá-los e observá-los representados no dashboard (Figura 16).

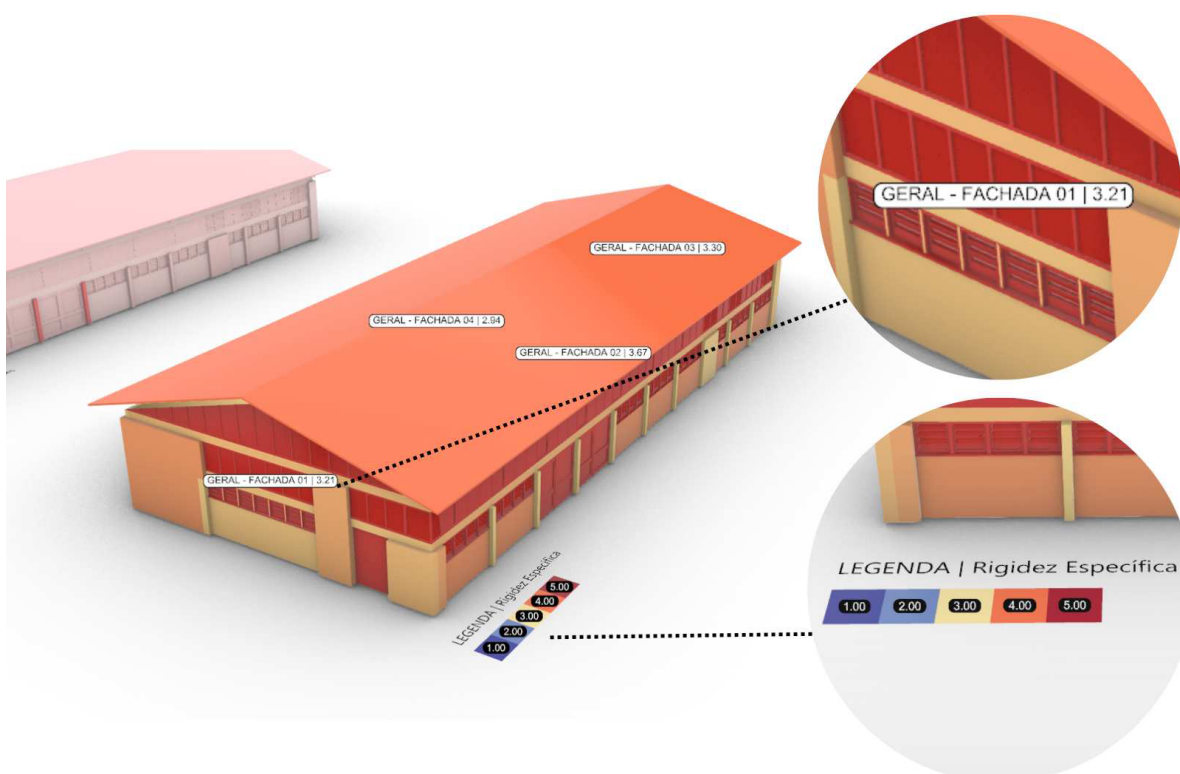
Figura 16. Visão geral do dashboard.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores obtidos dos indicadores de rigidez geral e específica⁴ encontram-se representados, respectivamente, de forma numérica espacialmente associados às fachadas as quais se referem e por gradação de cores nos elementos arquitetônicos, sendo esta última representação acompanhada de legenda paramétrica e adaptável em função das subdivisões de sua escala (Figura 17).

Figura 17. Representação de indicadores de rigidez geral e específica.



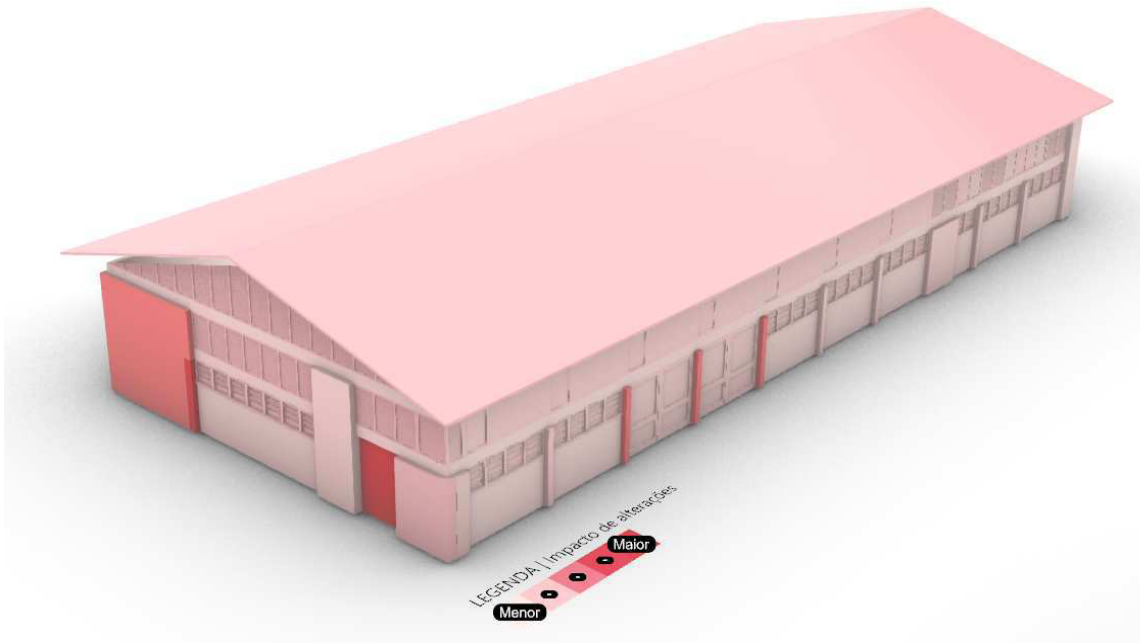
Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 18, é mostrada a representação do impacto de alterações⁵.

⁴ O indicador de rigidez geral é calculado com parâmetros de classe geral de uma envoltória rígida, isto é, dos parâmetros irreduzíveis que descrevem a totalidade do sistema da envoltória rígida. O indicador de rigidez específica é calculado com os parâmetros de classes de componentes e de atributos, que são os parâmetros que descrevem os componentes de uma envoltória rígida a partir de seu tipo e suas propriedades. Assim, cada tipo de indicador de rigidez é atribuído desta forma à envoltória: indicador de rigidez geral atribuído a cada fachada, e indicador de rigidez específica atribuído a cada componente.

⁵ Conforme previsto na seção 3.2.3, o cálculo do impacto de alterações de cada elemento é realizado em função dos *inputs*: razão entre parâmetros alterados e parâmetros totais (percentual de alterações) e da rigidez específica;

Figura 18. Representação do impacto de alterações.



Fonte: Elaborado pela autora.

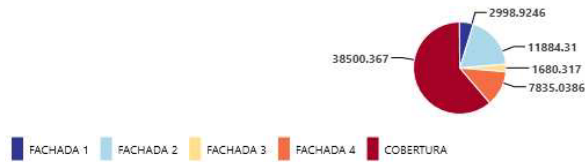
A interface de gráficos apresentada na Figura 19 é composta por gráfico de setores, representando valores de rigidez dos parâmetros de componentes⁶ e de ganhos de calor, e de barras horizontais, representando valores ranqueados de rigidez dos parâmetros de atributo⁷.

⁶ São parâmetros de componente aqueles relacionados à classificação dos elementos constituintes da envoltória rígida, que formam, entre si, subsistemas bem definidos por suas características essenciais.

⁷ São parâmetros de atributo aqueles relacionados às propriedades dos elementos constituintes.

Figura 19. Interface de gráficos do dashboard.

Ganhos de calor



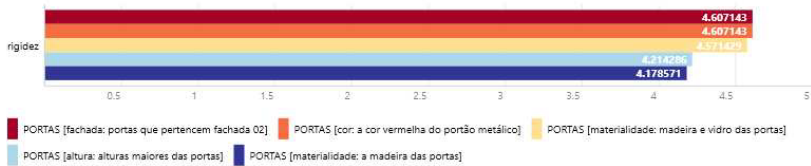
Rigidez

COMPONENTE



Atributos

PORTAS



Atributos

VIGAS



Atributos

PILARES



Atributos

COBERTURA



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Medidas de performance

Como produtos da etapa de avaliação, as matrizes de avaliação aqui apresentadas contém os resultados da performance dos artefatos avaliados (construto e modelo).

Consoante especificado na descrição da etapa de avaliação (seção 3.3.4), o indicador de rigidez (construto) foi validado a partir da coleta e análise de mapas mentais produzidos por um grupo representativo da comunidade para a qual a unidade-caso (Pavilhão Reitor Martins Filho) é significativa do ponto de vista imagético, que são os alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará.

São obtidas destes mapas mentais as frequências com que foram representadas as fachadas e os elementos arquitetônicos do pavilhão. Tais frequências foram comparadas com os valores produzidos pelo indicador de rigidez. Partindo da premissa de que os mapas mentais apresentam representações dos aspectos mais pregnantes da imagem da edificação e, portanto, mais importantes do ponto de vista da rigidez, esta comparação visou verificar se os valores produzidos pelo indicador representam adequadamente a rigidez da unidade-caso em análise.

Esta comparação foi possível à medida que o grupo representativo que produziu os mapas mentais corresponde ao mesmo grupo de respondentes do questionário *online*, do qual se obtiveram os dados que alimentam o indicador de rigidez aqui avaliado.

Deste modo, a avaliação é implementada com a comparação das frequências obtidas dos mapas mentais com os valores de rigidez alimentados pela tabela de resultados do questionário *online* (Apêndice C). Uma vez que se tratam de grandezas em escalas distintas, esta comparação torna-se praticável através de uma normalização de dados para transformá-los em dados adimensionais e passíveis de comparação direta. Para tanto, foi implementado um procedimento de normalização dos valores de rigidez e de frequência, que foram reescalados de forma linear para uma escala adimensional de 0 a 1 (Quadro 7).

Quadro 7. Normalização de dados de frequência e valores de rigidez para avaliação do construto.

<i>Fachada ou elemento</i>	<i>Frequência</i>	<i>Frequência normalizada</i>	<i>Valor de rigidez (Geral ou médias da específica)</i>	<i>Valor de rigidez normalizado</i>	<i>Diferença absoluta entre dados normalizados</i>
Fachada 1	17	0,6071	3,21	0,642	0,0349
Fachada 2	25	0,8928	3,67	0,734	0,1588
Fachada 3	6	0,2143	3,30	0,66	0,4457
Fachada 4	0	0	2,94	0,588	0,588
Parede	28	1	3,27	0,5675	0,4325
Viga	13	0,4643	3,24	0,56	0,0957
Pilar	5	0,1786	3,22	0,555	0,3764
Janela	25	0,8928	4,21	0,8025	0,0903
Porta	26	0,9286	4,10	0,775	0,1536
Cobertura	25	0,8928	3,66	0,665	0,2278

Fonte: Elaborado pela autora.

A comparação entre os valores normalizados é sucedida da diferença absoluta entre eles (d). Para avaliar o grau de correspondência entre os valores, são definidos intervalos de tolerância para a análise das diferenças absolutas observadas. A utilização destes intervalos justifica-se pelo fato de que possíveis variações mínimas entre os valores não significam imprecisões, considerando a premissa de que existem diferenças toleráveis dentro de intervalos previamente estabelecidos (Quadro 8).

Quadro 8. Intervalos de tolerância para diferenças absolutas.

<i>Intervalo da diferença absoluta</i>	<i>Categoria</i>
$0,00 > d > 0,20$	Alta concordância
$0,20 > d > 0,30$	Concordância moderada
$0,30 > d > 0,40$	Baixa concordância
$0,40 > d > 0,50$	Discrepância considerável
$d > 0,50$	Discrepância elevada

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 9 apresenta os resultados da categorização por intervalos de tolerância.

Quadro 9. Categorização por intervalos de tolerância.

<i>Fachada ou elemento</i>	<i>Diferença absoluta entre dados normalizados</i>	<i>Categoria</i>
Fachada 1	0,0349	Alta concordância
Fachada 2	0,1588	Alta concordância
Fachada 3	0,4457	Discrepância considerável
Fachada 4	0,588	Discrepância elevada
Parede	0,4325	Discrepância considerável
Viga	0,0957	Alta concordância
Pilar	0,3764	Baixa concordância
Janela	0,0903	Alta concordância
Porta	0,1536	Alta concordância
Cobertura	0,2278	Concordância moderada

Fonte: Elaborado pela autora.

Com estes resultados, foi possível observar uma predominância da categoria de alta concordância entre as frequências extraídas pelos mapas mentais e os valores produzidos pelo indicador de rigidez, notando-se, ainda, categorias de concordância moderada e baixa.

Por outro lado, foi verificada, ainda que em menor predominância, a presença de categorias de discrepância considerável e elevada. As causas de tais discrepâncias foram interpretadas a fim de identificar formas de melhoria para a solução indicador de rigidez. Quanto às fachadas 3 e 4, apesar de que apresentaram, respectivamente, baixa e nenhuma frequência nos mapas mentais, seus valores de rigidez obtidos foram maiores do que o esperado. Esta discrepância pode relacionar-se ao fato de que as fachadas que se mostraram pouco lembradas nos mapas mentais são necessariamente apresentadas para apreciação dos participantes durante o processo de aplicação do indicador de rigidez, tornando imperativa a atribuição de valores de

rigidez para tais fachadas. Em relação à discrepância identificada no elemento parede, este resultado pode ser compreendido como consequência de sua função gráfica de contornar a figura da edificação que este elemento constitui, tornando inevitável sua representação nos mapas mentais ainda que isso não signifique, necessariamente, sua relevância simbólico-imagética para a edificação.

A avaliação do *workflow* (modelo), que teve enfoque em seu objetivo de produzir representações de rigidez e de desempenho que demonstram suporte à decisão, foi realizada com alunos da disciplina de Condicionamento Ambiental 2 do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará, que participaram de um exercício de projeto e da concepção de uma matriz de análise F.O.F.A. (forças, oportunidades, fraquezas e ameaças).

O exercício de projeto propõe uma reflexão acerca das alterações de projeto propostas pelos alunos, que buscaram a melhoria do desempenho da envoltória do Pavilhão Reitor Martins Filho em relação aos seus ganhos de calor, de modo a preservar suas características simbólicas. Os resultados do exercício comparam as proposições de alterações com e sem a visualização do *dashboard*.

Quadro 10. Alterações de projeto propostas e repensadas após a visualização do *dashboard*.

<i>Alteração proposta sem a visualização do dashboard</i>	<i>Foi repensada após visualização do dashboard?</i>
Cobertura: alterar cor da cobertura para branco	SIM
Portas e janelas: substituir vidros de transparentes por espelhados	SIM
Cobertura: inserir lanternim	SIM
Cobertura: altura da cobertura	NÃO
Cobertura: beiral da cobertura	NÃO
Fachada 2: incluir mais vegetação	SIM

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebeu-se que o conjunto de representações do *dashboard* influenciou a análise das propostas de alterações de projeto apontadas pelos alunos, à medida que

a maior parte das alterações foram repensadas considerando os valores de rigidez dos elementos ou fachadas representados no *dashboard*.

Seguidamente a este exercício, é proposta aos participantes a concepção de uma matriz de análise F.O.F.A. para avaliar o *workflow* no que tange à utilidade das representações do *dashboard* para apoio à decisão (Quadro 11).

Quadro 11. Resultados da análise F.O.F.A. para avaliação do modelo.

<i>Forças</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Fraquezas</i>	<i>Ameaças</i>
Representação do indicador de rigidez específica;	Incluir volumetria do entorno;	Representação dos impactos de alterações;	Falta de otimização.
Visualização simplificada das informações (leitura para diferentes profissionais);	Incluir escala humana;	Representação do IRe traz sensação de muita restrição;	
	Incluir sombreamento (da própria edificação e dos volumes do entorno).	Ausência de fotos reais da edificação.	
Conexão em tempo real com modelo BIM permite facilidade de alterações (interoperabilidade);			
Gráficos de fácil compreensão.			

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados da análise F.O.F.A. demonstraram contribuições e limitações que o modelo trouxe consigo. Por isso, a análise dos resultados de cada eixo avaliativo encontra-se nas seções 5.2, com as contribuições práticas, e 5.3, com as limitações e seus possíveis desdobramentos em pesquisas futuras.

5. CONCLUSÃO

Diante do problema que tange ao conflito entre a preservação e a adaptação das edificações, esta pesquisa investigou como representar informação sobre a rigidez simbólico-imagética de envoltórias e sua repercussão em restrições de projeto. A representação proposta na pesquisa visou dar suporte à decisão para possíveis alterações de projeto, atingindo, a partir dos artefatos criados, o objetivo geral de representar informações de rigidez da envoltória com enfoque nos impactos que alterações podem causar à imagem da edificação e ao seu desempenho.

Assim, as contribuições desta pesquisa, mediante a concretização de seu objetivo geral, estão relacionadas tanto às reflexões que trouxe consigo quanto aos artefatos produzidos por ela, classificando-se em: contribuições teóricas (o construto) e contribuições práticas (o modelo, os métodos e a instanciação).

5.1 Contribuições teóricas

Os estudos implementados nesta pesquisa resultam nos produtos conceituais que derivam do **construto**: o conceito de envoltória rígida e sua representação formal em um indicador de rigidez. Estes produtos, apesar de sua natureza teórica, baseiam os produtos práticos desenvolvidos.

O conceito de envoltória rígida foi composto com a associação de termos potencialmente conflitantes e traz consigo características de cada um deles e, mais importante, outras características emergentes dessa natureza polissêmica.

A construção do conceito levou em consideração a qualidade multidisciplinar do projeto arquitetônico, baseando-se na ideia de que o objeto arquitetônico está situado em um campo abstrato de forças (objetivos de projeto) que influem sobre este objeto para melhor adequá-lo a elas. Este aspecto torna relevantes as inferências teóricas decorrentes do estabelecimento de parâmetros de envoltória rígida e das classes sistêmicas que os categorizam.

Dentro do recorte dos objetivos de projeto da preservação e do desempenho, a conceituação do comportamento sistêmico de uma envoltória rígida traz contribuições relevantes à medida que torna fundamenta as soluções para tornar inteligível a forma com que essas forças interagem entre si e impactam no objeto arquitetônico. Uma destas soluções consiste no próprio indicador de rigidez, que, ao representar formalmente o conceito de envoltória rígida, supera o desafio de lidar com a abstração de dados de percepção da imagem, transformando-os em dados objetivos a partir da mensuração do espectro de rigidez de uma edificação.

Ademais, ainda que relacionado a um produto de contribuições práticas, o modelo conceitual de fluxo de informação é um subproduto teórico que fundamenta a representação da rigidez em um ambiente projetual, na medida em que este modelo conceitual prevê a forma com que os construtos relevantes para essa representação associam-se e trocam informação em um ambiente computacional de projeto, sendo estes construtos: a própria envoltória rígida representada formalmente pelo indicador de rigidez, o desempenho térmico e BIM.

5.2 Contribuições práticas

O *workflow (modelo)* apresenta contribuições práticas devido à sua utilidade para suportar a tomada de decisão em projetos de edificações com envoltória rígida. À luz da Teoria Geral dos Sistemas, o grau de generalização imanente ao modelo permite que este seja aplicado em outros contextos de projeto que se deseje analisar, sendo possível a leitura de *inputs* de diferentes projetos arquitetônicos com suas respectivas coleções de dados qualitativos (percepção e memória da imagem) e quantitativos (dados bioclimáticos). As peças gráficas produzidas pelo *workflow* foram aspectos de força em sua matriz de avaliação, bem como a visualização simplificada das informações nas peças gráficas, cujas representações fazem-se inteligíveis para diferentes profissionais que possam estar envolvidos no projeto. Além disso, a interoperabilidade entre as aplicações do *workflow* facilita a realização de alterações e a visualização de seus impactos, seja para imagem seja para o desempenho,

favorecendo o ciclo iterativo de descoberta de restrições esclarecido por Lima (2016).

Os **métodos** propostos nesta pesquisa tratam-se artefatos pragmáticos que estão diretamente relacionados à operacionalização dos artefatos do tipo construto e modelo, apresentando contribuições práticas evidentes. O protocolo de aplicação do indicador de rigidez descreve procedimentos padronizados para obter valores de rigidez, que podem ser realizados de forma independente do ferramental utilizado para implementá-lo e para qualquer edificação. O protocolo de aplicação do *workflow*, ainda que apresente maior especificidade quanto ao aparato ferramental e ao tipo de desempenho a ser analisado, mantém um grau de universalidade de procedimentos para aplicação do modelo, podendo também ser replicado para qualquer contexto de projeto.

Por sua vez, a **instanciação** (estudo de caso) traz contribuições práticas mais específicas e relacionadas ao Pavilhão Reitor Martins Filho. A pesquisa avança, deste modo, quantos aos conhecimentos concernentes ao pavilhão e traz informações úteis para o público de interesse em preservação e melhoria de desempenho térmico.

5.3 Limitações e pesquisas futuras

Embora a pesquisa tenha tido êxito em alcançar seus objetivos, importa apresentar suas limitações e potencialidades para pesquisas futuras. Reconhecem-se restrições que, ao mesmo tempo que conformam as limitações, também indicam possibilidades de ampliar as aplicações em outros contextos. Quanto ao recorte da pesquisa, aponta-se as seguintes restrições:

- 1) Não foram testados sistematicamente e de forma comparativa os *softwares* e *plugins* para compor o ferramental do *workflow*;
- 2) O estudo de caso foi implementado em uma única unidade-caso;
- 3) Foi estudado um único tipo de desempenho no caso;

Assim, as pesquisas futuras que despontam das limitações mencionadas correspondem às seguintes, respectivamente:

- 1) Sistematização da análise de outros fluxos de trabalho, avaliando e comparando a interoperabilidade entre outras ferramentas digitais para representar o fenômeno da envoltória rígida;
- 2) Estudos em mais unidades-caso que representam outras zonas bioclimáticas e tipologias arquitetônicas;
- 3) Potencial para aplicar avaliação multicritério, integrando outros tipos de desempenhos;

Outras limitações foram identificadas na etapa de desenvolvimento do *workflow*, sobretudo relacionadas à dificuldade de extrair informações específicas por meio dos recursos convencionais da aplicações:

- 1) Área de superfície translúcida e propriedades BIM de superfície de e materialidade de esquadrias: por serem elementos pertencentes à família de objetos da classificação IFC (*Industry Foundation Classes*) que são simplificados e apresentarem poucas informações fornecidas pelo *plugin* Grasshopper-Archicad Live Connection e pelos parâmetros de criação de propriedades nativos do Archicad;
- 2) Materiais e espessuras das composições de paredes e cobertura: *plugin* Grasshopper-Archicad Live Connection permite extrair apenas *string* do nome da composição.

Além disso, apesar dos componentes e *scripts* contidos do *workflow* demonstrarem estar otimizados quando testados com *datasets* hipotéticos, não foi solucionada a lentidão de resposta (superior a 3 minutos) identificada no processamento para o envio de alterações de projeto do BIM (Archicad 28) para a Interface Visual de Programação (Grasshopper) através do *plugin* Grasshopper-Archicad Live Connection.

Dadas as limitações relacionadas à extração de informações e otimização no processamento das alterações de projeto, nota-se a possibilidade de investigar a transposição do *workflow* para outras tecnologias de *softwares* e *plugins*.

Quanto à avaliação, a pesquisa teve enfoque na validação dos artefatos com base nas suas utilidades para mitigar o problema estudado, não sendo avaliada, no entanto, sua usabilidade e replicabilidade.

Evidencia-se um potencial de aplicação em processos de projeto reais, a exemplo de estudos de caso em escritórios de arquitetura e órgãos de preservação e gestão patrimonial.

Outras limitações e suas decorrentes potencialidades relacionam-se diretamente às medidas de performance dos artefatos que foram evidenciadas na seção 4.4. As discrepâncias aferidas na avaliação do construto (indicador de rigidez), que expressaram limitação na representação produzida pelo indicador, apontam para possibilidade de empregar outros métodos de apreciação dos valores de rigidez, a exemplo da associação ou substituição da escala Likert por um ranqueamento de parâmetros de rigidez.

Quanto à performance do modelo, os eixos avaliativos levantados na matriz de análise F.O.F.A. evidenciaram tanto as limitações quanto às potencialidades para pesquisas futuras. Enquanto as forças expressaram contribuições da pesquisa, as oportunidades traduziram as potencialidades de melhoria do *workflow*: inclusão de volumetria do entorno; inclusão de escala humana; inclusão de sombreamento (da própria edificação e dos volumes do entorno). Por sua vez, fraquezas e ameaças apresentaram outros indícios para o aprimoramento do *workflow*:

- 1) Representação dos impactos de alterações: possibilidade de explorar outras estratégias de visualização dos impactos de alterações, como a substituição da escala monocromática por uma escala de cores com classificação dos graus de impactos de alteração de acordo com o valor do percentual de alterações;

- 2) Representação do IRe traz sensação de muita restrição: possibilidade de evidenciar somente os elementos com valores de rigidez elevados, a partir de estabelecimento prévio de limiar de referência como critério;
- 3) Ausência de fotos reais da edificação: incluir a modelagem do entorno construído e/ou fotos das fachadas no *dashboard*;
- 4) Falta de otimização: investigar outras aplicações para compor o aparato ferramental do *workflow*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, A.; FREGONESE, L.; ROSIGNOLI, O.; SCALA, B.; TAFFURELLI, L.; TRECCANI, D. Geometric survey data and historical sources interpretation for HBIM process: the case of Mantua Cathedral facade. In: BRUMANA, R.; PRACCHI, V.; RINAUDO, F.; GRIMOLDI, A.; SCAIONI, M.; PREVITALI, M.; CANTINI, L. (org.). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, [S. l.], v. XLII-2/W11, p. 29–35, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-29-2019>.

AGKATHIDIS, Asterios. Generative Design. Londres: Laurence King Publishing, 2015.

ALEXANDER, Christopher. Systems Generating Systems. In: MENGES, Achim; AHLQUIST, Sean (org.). Computational design thinking. Chichester: Wiley, 2011. p. 198–215.

ALEXANDER, Christopher; ISHIKAWA, Sara; SILVERSTEIN, Murray; JACOBSON, Max; FIKSDAHL-KING, Ingrid; ANGEL, Shlomo. Uma Linguagem de Padrões. São Paulo: Blucher, 2012.

ALSADIK, B.; JASIM, L. K. Active Use of Panoramic Mobile Mapping Systems for as Built Surveying and Heritage Documentation. International Journal of Architectural Heritage, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 244–256, 17 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1431733>.

ALVES, Carlos Diogo Valente. Arquitetura Adaptada às Alterações Climáticas. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2020. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/10984>. Acesso em: 05 mai. 2024.

ALVES, Carolina Abrahão; GONÇALVES, Fábio Luiz Teixeira; DUARTE, Denise Helena Silva. The recent residential apartment buildings' thermal performance under the combined effect of the global and the local warming. Energy and Buildings, [S. l.], v. 238, p. 110828, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110828>.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110828>. Acesso em: 01 nov. 2023.

ANDRADE, Max; RUSCHEL, Regina C. BIM: Conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (SBQP), 14., 2009, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2009. p. 602-613.

ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. Projeto performativo na prática arquitetônica recente: estrutura Conceitual. 2012. 436 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: 20.500.12733/1618105.

ARAÚJO, Débora Pereira Costa; LIMA, Mariana Monteiro Xavier de; ROMCY, Neliza Maria e Silva; CARDOSO, Daniel Ribeiro. Systemic Approach For Rigid Building Envelope Concept: Permanence In Face of Climate Changes. SIGraDi, 2024. p. 261-272.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-03: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965-4: Sistema de classificação da informação da construção. Parte 4: Recursos da Construção. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965-5: Sistema de classificação da informação da construção. Parte 5: Resultados da Construção. Rio de Janeiro. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 19650-1: Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo a modelagem da informação da construção (BIM): Gestão da

informação técnica usando a modelagem da informação da construção. Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AYTEKIN, O. Sustainable Conservation of Cultural Landscape and Changing Values around Hacı Bayram Mosque and Augustus Temple, Ankara, Turkey. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [S. l.], v. 603, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/2/022039>.

BAHIA, Leandro Oliveira. Guia Referencial para Construção e Análise de Indicadores. Enap. Brasília, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/6154>>. Acesso em: 31 jan. 2025.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, Secretaria de Planejamento e Assuntos Econômicos. Guia Metodológico para Indicadores. 3ª Edição. Brasília/DF, julho de 2018.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARTOLOMEI, C.; BENEDETTI, A. C.; MORGANTI, C.; PREDARI, G. Photogrammetry as a method for retrieving geometrical information on the 20-th century heritage. The AGIP colony in Cesenatico. In: GONZALEZ AGUILERA, D.; REMONDINO, F.; TOSCHI, I.; RODRIGUEZ GONZALEZ, P.; STATHOPOULOU, E. (org.). ISPRS Archives, [S. l.], v. XLII-2/W15, p. 157–164, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-157-2019>.

BERNARDO, G. The New Building Components of the Modern Architecture. Vitruvio-International Journal of Architectural Technology and Sustainability, [S. l.], v. 8, p. 4–17, maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2023.18830>.

BERTALANFFY, Ludwig von. Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 1975. 5 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.

BERLATO, Moacir Antônio; CORDEIRO, Ana Paula Assumpção. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*, v. 25, n. 2, p. 253-270, 2018.

BIMFORUM. LOD: Level of Development Specification. [S. l.]: BIMForum, 2024.

Disponível em:

<https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BOUKERCH, I.; TAKARLI, B.; MAHMOUDI, R.; TELLAI, S.; CHADLI, D. Application of digital terrestrial photogrammetry in architectural conservation: the Mosque of Abdullah Ibn Salam of Oran. In: HALOUNOVA, L.; SAFAR, V.; REMONDINO, F.; HODAC, J.; PAVELKA, K.; SHORTIS, M.; RINAUDO, F.; SCAIONI, M.; BOEHM, J.; RIEKE-ZAPP, D. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLI-B5, p. 989–994, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-989-2016>.

BURRY, Jane. Philosophy of mathematics for computational design: spatial intuition versus logic. In: MENGES, Achim; ALQUIST, Sean (org.). *Computational thinking. 2011 Reader*. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

CAMINO-OLEA, M. S.; LLORENTE-ALVAREZ, A.; CABEZA-PRIETO, A.; OLIVAR-PARRA, J. M. Test Evaluating the Effectiveness of Hydrofugation in the Protection of Handmade Brick Walls against Rainwater. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S. l.], v. 603, n. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/3/032040>.

CAMPOSTRINI, G. P.; TAFFAREL, S.; BETTIOL, G.; VALLUZZI, M. R.; DA PORTO, F.; MODENA, C. A Bayesian Approach to Rapid Seismic Vulnerability Assessment at Urban Scale. *International Journal of Architectural Heritage*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 36–46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1370506>.

CANTISANI, E.; DE LUCA, D.; FREDIANI, P.; GARZONIO, C. A.; RICCI, M.; STORI, F. Restoration of a sandstone facade: from the project to the monitoring. *International*

Journal of Architectural Heritage, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 290–301, 2012. DOI:
<https://doi.org/10.1080/15583058.2010.529237>.

CARVALHO, A. R. de; CUNHA, E. G. da; OLIVEIRA, A. L. C. de. RETROFIT ENERGÉTICO EM UM EDIFÍCIO HISTÓRICO EM PELOTAS, RS, SEGUNDO O RTQ-C E A ENERPHIT. *Arquitetura Revista*, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 54–72, 2021. DOI: 10.4013/arq.2021.171.04. Disponível em:
<https://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2021.171.04>. Acesso em: 13 jan. 2025.

CAVALCANTI, Cristina Kanya Caselli; ALVIM, Angélica Aparecida Tanus Benatti. Autoconstrução em contexto de elevação de temperatura: o caso do Cantinho do Céu, São Paulo. *Cadernos Metrópole*, v. 22, n. 49, p. 273-296, set.-dez. 2020. DOI: 10.1590/2236-9996.2020-4905.

CHING, F. D. K. *Arquitetura, forma, espaço e ordem*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ÇIÇEK, S.; TURHAN, G. D.; TASER, A. Deterioration of Pre-War and Rehabilitation of Post-War Urbanscapes Using Generative Adversarial Networks. *International Journal of Architectural Computing*, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 695–711, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/14780771231181237>.

COSTA, Iara Ferreira de Rezende; SILVA, Djalma Theodoro da; NETO, Alcino de Oliveira Costa. Concepção de um programa para análise do desempenho térmico aplicando o método C.S.T.B e sua vinculação a um estudo de caso. *ENSUS 2020 - VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. Palhoça, maio de 2020.

DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 201–222, 2016. Disponível em:
<https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/63424>. Acesso em: 13 jan. 2025.

DEFO, M.; LACASSE, M. A. Effects of climate change on the moisture performance of tallwood building envelope. *Buildings*, Basel, v. 11, n. 2, p. 35, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11020035>

DEKEYSER, L.; VERDONCK, A.; DE CLERCQ, H. Cimorne Cement Render with Opalescent Glass Granules: A Decorative Facade Finish Developed by Innovative Craftsmanship in the Interwar Period. *Journal of Architectural Conservation*, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 86–102, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/13556207.2013.819621>.

DELANDA, Manuel. *Intensive science and virtual philosophy*. New York: Continuum, 2002.

DELPOZZO, D.; TRECCANI, D.; APPOLONIA, L.; ADAMI, A.; SCALA, B. HBIM and thematic mapping: preliminary results. In: FREGONESE, L.; FASSI, F.; REMONDINO, F. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLVI-2/W1, p. 199–206, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-199-2022>.

DIÁRIO DO NORDESTE. Fortaleza registra, nesta quarta-feira (31), a maior temperatura dos últimos 4 meses. Ceará, 2024. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/fortaleza-registra-nesta-quarta-feira-31-a-maior-temperatura-dos-ultimos-4-meses-1.3473586>. Acesso em: 31 jan. 2025.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. *Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUARTE, Romeu. UFC inaugura Pavilhão Martins Filho, com reforma de prédio icônico do Modernismo no Ceará. 2015. Disponível em: <https://www.ufc.br/noticias/noticias-de-2015/7357-ufc-inaugura-pavilhao-martins-filho-com-reforma-de-predio-iconico-do-modernismo-no-ceara>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2025.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.

ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

<https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf>

ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial; CB3E - Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2022. Disponível em:

<https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual_INI-C_Definicoes-AGO-23.pdf>.

ENAP. Elaboração de Indicadores de Desempenho Institucional. Brasília, 2013.

FALCONERY, Lucas. 9 bairros de Fortaleza já estão com índices mais altos de riscos para mudanças climáticas. Diário do Nordeste, Ceará, 17 de outubro de 2023.

Disponível em:

<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/9-bairros-de-fortaleza-ja-esta-o-com-indices-mais-altos-de-riscos-para-mudancas-climaticas-1.3429432>>. Acesso em: 31 jan. 2025.

FRAZER, John. A natural model of architecture. In: MENGES, Achim; AHLQUIST, Sean (Org.). Computational design thinking. Chichester: Wiley, 2011. p. 92-109.

FROTA, A. B. Geometria da insolação. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. Manual de conforto térmico. . São Paulo: Studio Nobel, 2007.

GAGNON, J. S. Significance of a one-degree Celsius increase in global temperature. 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2207.04920>.

GARCÍA, E. S.; GARCÍA-VALLDECABRES, J.; BLASCO, M. J. V. The use of hbim models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: A review. 2018: International Journal of Sustainable Development and Planning.

GOMES, Lauren Beltrão; BOLZE, Simone Dill Azeredo; BUENO, Rovana Kinas; CREPALDI, Maria Aparecida. As Origens do Pensamento Sistêmico: Das Partes para o Todo. *Pensando Famílias*, 18(2), dez. 2014, (3-16).

GOMES FILHO, João. *Gestalt do Objeto: Sistema de Leitura Visual da Forma*. 8. ed. São Paulo: Escrituras. 2008.

GUARDA, E. L. A. da; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Efeitos do Aquecimento Global nas Estratégias de Projeto das Edificações por Meio de Cartas Bioclimáticas. *E&S Engineering and Science*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 54–69, 2018. DOI: 10.18607/ES201876827. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/6827>.

GUTIÉRREZ-PÉREZ, N.; DE-MIGUEL-SÁNCHEZ, M. A Scalar Approximation to the Survey of the Architectural, Artistic and Cultural Heritage of the University of Alcala (Madrid, Spain). *Disegnarecon*, [S. l.], v. 16, n. 30, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.5>.

HAMAOKA, A.; YAMAMOTO, N.; YOSHIDA, T.; MIYAUCHI, A.; MASUI, M.; MUKAI, Y. Typology on Exterior Design of Townhouses in a World Cultural Heritage Site of a Nepali City. *Japan Architectural Review*, [S. l.], v. 6, n. 1, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12411>.

HOYER, S. A. Renovation of the Praetorian Palace in Koper - Conservation Problems. In: BREBBIA, C. A.; JAGER, W. (org.). *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings VI*. [S. l.]: WIT Press, 1999. p. 409–419.

- IBGE. Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?edicao=15887&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 31 jan. 2025.
- IBRI, Ivo Assad. O paciente objeto da semiótica. Série - Linguagem, São Paulo, v. 2, p. 115-122, 1996.
- INDIRLI, M.; CASTELLANO, M. G. Shape memory alloy devices for the structural improvement of masonry heritage structures. *International Journal of Architectural Heritage*, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 93–119, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583050701636258>.
- IÑIGO, M. R. The Sacred Harts School in Torrelavega. In: NUNEZ, T. C. (org.). *History of Modern Architecture in Spain and Americas*. [S. l.: s. n.], 2016. p. 154–169. (Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities).
- KALAY, Y. Performance-based design. *Automation in Construction*, n. 8, p. 395-409, 1999.
- KANAANI, Mitra; KOPEC, Dak (ed.). *The Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends*. New York: Routledge, 2016.
- KIVILCIM, C. Ö.; DURAN, Z. A semi-automated point cloud processing methodology for 3D cultural heritage documentation. In: HALOUNOVA, L.; SAFAR, V.; REMONDINO, F.; HODAC, J.; PAVELKA, K.; SHORTIS, M.; RINAUDO, F.; SCAIONI, M.; BOEHM, J.; RIEKE-ZAPP, D. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLI-B5, p. 293–296, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-293-2016>.
- KOLAY, S. Cultural Heritage Preservation of Traditional Indian Art through Virtual New-Media. In: COMER, D. C.; VERSACI, A.; AMER, M. S. (org.). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, [S. l.], v. 225, p. 309–320, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.030>.

KOWALTOWSKI, Doris K.; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO, Márcio M. (Orgs.). O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KRÜGER, E. L.; MORI, F. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 89–106, 2012. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/26020>. Acesso em: 7 jan. 2025.

KUSHWAH, A.; GAUR, M.; PANDIT, R.; SINGH, P. Material Thermal Performance Comparison Between The Tomb Of Mohammad Ghaus Heritage Building And A Modern Style Dwelling In Madhya Pradesh. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 33–44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v7.n2.482>.

KUWAHARA, Letícia; CARVALHO, Victória; SILVA, Marcelle Vilar da. Melhorias do desempenho térmico em residências de palafita de madeira para ocupação de áreas úmidas na cidade de Macapá-ap. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 999–1008. DOI: 10.46421/entac.v17i1.1440. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1440>.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. ed. rev. São Paulo: ProLivros, 2014.

LARASATI, D.; AISHA, H.; HANIFAH, Y.; TRIYADI, S.; PRIMASETRA, A. Effects of utilizing various types of facade material on the embodied and operational energy; a case study of apartment building in Indonesia. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, [S. l.], 24 dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2287221>.

LAWSON, Bryan. Como arquitetos e designers pensam. 4ª edição, São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

LEATHERBARROW, David. *Architecture Oriented Otherwise*. New York: Princeton Architectural Press, 2009

LEE, M. C. J.; HUANG, L. W.; WANG, R. Z.; LIN, C. J.; TSAI, Y. L.; LIN, M. L. Damage risk assessment of painting on the wood construction in typical Taiwanese temple by hot and humid climate. In: GONZALEZ-AGUILERA, D.; REMONDINO, F.; TOSCHI, I.; RODRIGUEZ-GONZALVEZ, P.; STATHOPOULOU, E. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLII-2/W15, p. 653–656, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-653-2019>.

LEZZERINI, M.; ANTONELLI, F.; COLUMBU, S.; GADDUCCI, R.; MARRADI, A.; MIRIELLO, D.; PARODI, L.; SECCHIARI, L.; LAZZERI, A. Cultural Heritage Documentation and Conservation: Three-Dimensional (3D) Laser Scanning and Geographical Information System (GIS) Techniques for Thematic Mapping of Facade Stonework of St. Nicholas Church (Pisa, Italy). *International Journal of Architectural Heritage*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 9–19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2014.924605>.

LIMA, Mariana Monteiro Xavier de. *Metamodelo para integração de multidesempenhos em projeto de arquitetura*. 2016. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

LOPES, Melissa Lorrane Frazão; RODRIGUES NETO, Eduardo; CARVALHO, Michele Teresa Marques; CALDAS, Lucas Rosse. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES:: UMA REVISÃO CRÍTICA DO ESTADO DA ARTE. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 4., 2021. *Anais [...]*. [S. l.], 2021. p. 630–643. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2548>. Acesso em: 19 set. 2024.

LOVELL, L.; DAVIES, R.; HUNT, D. The Application of Historic Building Information Modelling (HBIM) to Cultural Heritage: A Review. *Heritage*, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 6691–6717, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage6100350>.

LU, Yujie; LI, Peixian; LEE, Yih Perng; SONG, Xiangnan. An integrated decision-making framework for existing building retrofits based on energy simulation and cost-benefit analysis. *Journal of Building Engineering*, [S. l.], v. 43, p. 103200, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103200>.

LYNCH, Kevin. *A Imagem da Cidade*. São Paulo: Martins Fontes, [1960] 1999.

MA, Nicole; JIANG, Jonathan H.; HOU, Kennard; LIN, Yun; VU, Trung; ROSEN, Philip E.; GU, Yu; FAHY, Kristen A. 21st Century Global and Regional Surface Temperature Projections. *arXiv*, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2210.03245>.

MAKOWSKA, B. Details of Krakow's Modernist Townhouses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S. l.], v. 603, n. 5, p. 052050, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052050>.

MAKRIS, P.; CHRISTOPOULOU, A.; KONIDI, A. M.; GMINSKA-NOWAK, B.; TSAKANIKA, E.; WAZNY, T. Interpreting the Story Old Timber Can Tell: An Example from a 'Venetian' Building in Nafplio. *International Journal of Architectural Heritage*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 707–729, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1963505>.

MANSON, N. J. Is operations research really research? *ORION*, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006. In: MARCH, S. T.; SMITH, G. F. *Design and natural science research on information technology*. *Decision Support Systems*, [S. l.], v. 15, p. 251–266, 1995.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. *Design and natural science research in Information Technology*. *Decision Support Systems*, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003

MARTÍNEZ RUBIO, José; FERNÁNDEZ MARTÍN, Juan José; SAN JOSÉ ALONSO, Jesús Ignacio. Implementación de escáner 3d y fotogrametría digital para la documentación de la iglesia de La Merced de Panamá. *EGA Revista de expresión*

gráfica arquitectónica, v. 23, n. 32, 2018. DOI: 10.4995/ega.2018.9811. Disponível em: <https://doi.org/10.4995/ega.2018.9811>.

MARTINS, Érica Maria de Barros; SILVEIRA, Mariana Pires. O estudo do Pavilhão Reitor Martins Filho como memória da arquitetura moderna em Fortaleza. 14º Seminário Docomomo Brasil – Belém (2021).

MATHEUS, Carla; CAETANO, Fernando Durso Neves; MORELLI, Denise Damas de Oliveira; LABAKI, Lucila Chebel. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 61-75, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100061>.

MEEK, A. H.; ELCHALAKANI, M. Life Cycle Assessment of Rammed Earth Made Using Alkaline Activated Industrial By-Products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S. l.], v. 323, n. 1, p. 012143, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012143>.

MELO, Carol. 2024 é o ano mais quente já registrado e primeiro a superar limite de 1,5 °C do Acordo de Paris. *Diário do Nordeste*, Ceará, 10 de janeiro de 2025. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/estilo-de-vida/meio-ambiente/2024-e-o-ano-mais-quente-ja-registrado-e-primeiro-a-superar-limite-de-15c-do-acordo-d-e-paris-1.3604080>>. Acesso em 31 jan. 2025.

MENGES, A., ALQUIST, S., 2011. *Computational Design Thinking*. AD Reader. John Wiley & Sons Ltd., 2011.

MICHAELIS. *Dicionário brasileiro da língua portuguesa*. São Paulo: Melhoramentos. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br>. Acesso em: 2 dez. 2024.

MITCHELL, William John. *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução de Gabriela Celani. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. ISBN 978-85-268-0798-3.

- MOLION, Luiz Carlos Baldicero. AQUECIMENTO GLOBAL: UMA VISÃO CRÍTICA. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 3, 2008. DOI: 10.5380/abclima.v3i0.25404. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25404>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- NARDO, Michela; SAISANA, Michaela; SANTELLI, Andrea; TARANTOLA, Stefano; HOFFMAN, Anders; GIOVANNINI, Enrico. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD Statistics Working Papers, No. 2005/03, OECD Publishing, Paris, 2005. <https://doi.org/10.1787/533411815016>.
- NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- NESPECA, R.; DE LUCA, L. Analysis, thematic maps and data mining from point cloud to ontology for software development. In: HALOUNOVA, L.; SAFAR, V.; REMONDINO, F.; HODAC, J.; PAVELKA, K.; SHORTIS, M.; RINAUDO, F.; SCAIONI, M.; BOEHM, J.; RIEKE-ZAPP, D. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLI-B5, p. 347–354, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-347-2016>.
- NETO, Clovis Ramiro Jucá; NASCIMENTO, José Clewton do; FERNANDES, Ricardo; JUNIOR, Romeu Duarte. Inventário da arquitetura moderna cearense: o Campus do Benfica da Universidade Federal do Ceará. 9º Seminário Docomomo Brasil – Brasília (2011).
- NÖTH, Winfried. *Panorama da Semiótica: de Platão a Peirce*. São Paulo: Annablume, 1998.
- OKTAY, M. Examining Ali Kayimzade House and Sevilyay Pasazade House as Examples of Traditional Houses in Lefke. *Megaron*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 10–26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14744/MEGARON.2020.26779>.
- OLIVEIRA, Paolo Américo de; LUNARDI, Diana Gonçalves. Influência da envoltória no desempenho termoenergético de edificações institucionais no semiárido. *PARC*

Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 9, n. 4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i4.8651048>.

OMENA, Thiago Henrique; BUNDER, Jeferson; DUARTE, Silvia; GUIDO, Lucienne; TRAVAGLIA, Andreia. Análise da resposta térmica do envoltório no ambiente sala de aula do edifício Vila Penteadado. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, São Paulo, 21 a 23 set. 2016.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 229–265, 2006.

PAIVA, Ricardo; DIÓGENES, Beatriz; CARDOSO, Daniel. "Futuro do Pretérito": BIM e Documentação Digital da Arquitetura Moderna em Fortaleza. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. Porto Alegre: ANTAC, 2015.

PAULINO, Nícolas. Com mudança do clima, casas e prédios do Ceará devem se preparar para futuro de altas temperaturas. *Diário do Nordeste*, Ceará, 29 de julho de 2024. Disponível em:

<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/com-mudanca-do-clima-casas-e-predios-do-ceara-devem-se-preparar-para-futuro-de-altas-temperaturas-1.3538879>>. Acesso em 31 jan. 2025.

PEREZ-MONSERRAT, E. M.; FORT, R.; VARAS-MURIEL, M. J. Monitoring Facade Soiling as a Maintenance Strategy for the Sensitive Built Heritage. *International Journal of Architectural Heritage*, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 816–827, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1419312>.

PERINI, K.; ROSASCO, P. Is Greening the Building Envelope Economically Sustainable? An Analysis to Evaluate the Advantages of Economy of Scope of Vertical Greening Systems and Green Roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, [S. l.], v. 20, p. 328–337, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.08.002>.

PINHEIRO, Wilma Fernandes. Avaliação das condições térmicas em escolas públicas no semiárido paraibano segundo os princípios da arquitetura bioclimática. 2023. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

PIRRÓ, L. F. de S. ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA COMO ESTRATÉGIA PARA A SUSTENTABILIDADE DOS EDIFÍCIOS. Revista Belas Artes, [S. l.], v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.belasartes.br/revistabelasartes/article/view/290>. Acesso em: 29 maio. 2024.

PISANI, M. A. J.; VILLAC, M. I.; LIMA, A. G. G. Projetar em tempos de mudanças climáticas: arquitetura e cidade. Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, [S. l.], v. 23, n. 1, 2023. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/16263>. Acesso em: 7 jan. 2025.

PIZZA JUNIOR, W. Considerações Sobre a Teoria Geral de Sistemas. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 2, n. 20, p.71-89, jun. 1986.

PRUZAN, Peter. Research Methodology: The Aims, Practices and Ethics of Science. Cham: Springer, 2016.

QUINTELLA, Bianca Marinho. Instrumentos para avaliação da sustentabilidade em áreas urbanas: estudo de caso no Centro Metropolitano, Rio de Janeiro, aplicando a certificação ambiental LEED ND. 2018. [Tese de doutorado]. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.33914>.

REK-LIPCZYNSKA, A. Purification of the Air in the Historic Cities of Towns. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [S. l.], v. 471, n. 10, p. 102029, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/10/102029>.

RHEINGANTZ, Paulo Afonso; AZEVEDO, Giselle Arteiro; BRASILEIRO, Alice; ALCANTARA, Denise de; QUEIROZ, Mônica. Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação. Rio de Janeiro: PROARQ/FAU/UFRJ, 2009.

ROMÁN, J.; LERONES, P. M.; LLAMAS, J.; ZALAMA, E.; GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J. Towards the automatic 3D parametrization of non-planar surfaces from point clouds in HBIM applications. In: GONZALEZ-AGUILERA, D.; REMONDINO, F.; TOSCHI, I.; RODRIGUEZ-GONZALVEZ, P.; STATHOPOULOU, E. (org.). ISPRS Archives, [S. l.], v. XLII-2/W15, p. 1023–1030, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1023-2019>.

SAFFARI, M. & BEAGON, P. Home energy retrofit: Reviewing its depth, scale of delivery, and sustainability. *Energy and Buildings*, 269, 112253. 2022.

SALDAÑA-MÁRQUEZ, H.; GÓMEZ-SOBERÓN, J. M.; ARREDONDO-REA, S. P.; ALMARAL-SÁNCHEZ, J. L.; GÓMEZ-SOBERÓN, M. C.; ROSELL-BALADA, G. The Passivhaus Standard in the Mediterranean Climate: Evaluation, Comparison and Profitability. *Journal of Green Building*, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 55–72, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3992/jgb.10.4.55>.

SAMPAIO, Alcínia Zita; GOMES, Augusto; LITE, Alberto Sánchez; PÉREZ, Patricia Zulueta; GONZÁLEZ-GAYA, Cristina. Analysis of BIM methodology applied to practical cases in the preservation of heritage buildings. *Sustainability*, v. 13, n. 6, 2021. DOI: 10.3390/su13063129. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13063129>.

SANTOLI, L. de; MANCINI, F.; NASTASI, B.; RIDOLFI, S. Energy Retrofitting of Dwellings from the 40's in Borgata Trullo - Rome. *Energy Procedia*, [S. l.], v. 133, p. 281–289, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.389>.

SANTOS, Ana Luísa Trevisan dos; VILLA, Simone Barbosa. Integração entre avaliação pós-ocupação e bim baseada no aplicativo “como você mora?”. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 1–10. Londrina, 2021. <https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438002>.

SANTOS, Edler Oliveira. Processo de projeto colaborativo em arquitetura. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9RUHJA>.

SCAIONI, M.; ROSINA, E.; L'ERARIO, A.; DÌAZ-VILARIÑO, L. Integration of infrared thermography and photogrammetric surveying of built landscape. In: TUCCI, G.; BONORA, V. (org.). ISPRS Archives, [S. l.], v. XLII-5/W1, p. 153–160, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-153-2017>.

SCHEEREN, Rodrigo; LIMA, Daniel Lenz Costa. O manifesto do Parametricismo: perspectivas acerca de um "novo estilo global" para o design da arquitetura e do urbanismo. Revista V!RUS, São Carlos, Brasil, v. 1, n. 11, 2015. Disponível em: <https://revistas.usp.br/virus/article/view/228650>.

SCUDO, G.; DREI, A. Cob Seismic Rehabilitation. In: BROADBENT, G.; BREBBIA, C. A. (org.). Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature. [S. l.]: WIT Press, v. 86, p. 369–378, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2495/ARC060371>.

SIGRADI. SIGRADI 2023: XXVII Conferência Internacional de Design Digital em Arquitetura e Urbanismo. Accelerated Landscapes. 2023. Disponível em: <https://sigradi.org/sigradi2023/>.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. de; PINHEIRO, M. D. Building's External Walls in Life-Cycle Assessment (LCA) Research Studies. In: BRAGANÇA, L. et al. (org.). Sustainable Building 2010 (SB10): Innovation and Integration in Sustainable Design and Construction. [S. l.]: Curran Associates, 2010. p. 629–638.

SITNIK, R.; LECH, K.; BUNSCH, E.; MICHONSKI, J. Monitoring Surface Degradation Process by 3D Structured Light Scanning. In: LIANG, H.; GROVES, R.; TARGOWSKI, P. (org.). Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VII. [S. l.]: SPIE, v. 11058, p. 110580V, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2525668>.

SOUZA, Elaine Cristina Borges de. A teoria de mundo-próprio de Jakob Von Uexkull: entre a metafísica e o naturalismo. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/6273>.

SOUZA, Eduardo Antonio; OLIVEIRA, Gabriela Araujo; MIRANDA, Eva Rolim; COUTINHO, Solange Galvão; WAECHTER, Hans da Nóbrega; PORTO FILHO, Gentil.

Alternativas epistemológicas para o design da informação: a forma enquanto conteúdo | Epistemological alternatives for information design: form as content. *InfoDesign*, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 107–118, 2016. DOI: 10.51358/id.v13i2.480. Disponível em: <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/480>.

SUCCAR, Bilal . Building Information Modelling Maturity Matrix (chapter). *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*. Change Agents AEC, Austrália, 2009.

TAMBOSI, Ricardo Giovani; HACKENBERG, Ana Mirthes. Análise e classificação da envoltória de subprefeitura da cidade de Joinville-SC através do método INI-C. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e02020165-185. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020165-185>.

TORREALVA, D.; BLANCO, A.; TUMIALAN, G.; NANNI, A. Seismic Rehabilitation of Cathedral Towers in Peru. In: BREBBIA, C. A. (org.). *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture VIII*. [S. l.]: WIT Press, v. 16, p. 523–532, 2003.

TORRES, T., BRASILEIRO, A., & SILVOSO, M. M. (2023). AMBIENTES UNIVERSITÁRIOS EFICIENTES: ESTUDO DO IMPACTO ENERGÉTICOECONÔMICO DA IMPLEMENTAÇÃO DE BRISES-SOLEIS NO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA. ENCONTRO LATINO AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 4, 940–952. Recuperado de <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2573>.

TRUMMER, Peter. Associative design: from type to population. In: MENGES, Achim; AHLQUIST, Sean (Org.). *Computational design thinking*. Chichester: Wiley, 2011. p. 198-215.

TUFTE, Edward R. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1983 (2ª edição 2001).

UEXKÜLL, Jakob von. *Dos animais e dos homens*. Tradução de Alberto Candeias e Alberto G. Pereira. Lisboa: Livros do Brasil, 1982.

- UYEMOV, Avanir. Problem of Direction of Time and the Laws of System's Development. Entropy and Information in Science and Philosophy. Kubat, L.; Zeman, J. (Eds.). 93-102. Praga: Elsevier Sc. Publ. Co. 1975.
- VAISHNAVI, V. K.; KUECHLER, W. Design science research method and patterns: innovating information and communication technology. Auerbach Pub, 2007.
- VALACH, J.; BRYSCJN, J.; DRDÁCKY, M.; SLÍZKOVÁ, Z.; VAVRÍK, D. Public Perception and Optical Characterization of Degraded Historic Stone and Mortar Surfaces. In: FORT, R. et al. (org.). Heritage, Weathering and Conservation. [S. l.]: Taylor & Francis Group, v. 2, p. 827–832, 2006.
- VALLE, P. R. D.; FERREIRA, J. de L. ANÁLISE DE CONTEÚDO NA PERSPECTIVA DE BARDIN: CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES PARA A PESQUISA QUALITATIVA EM EDUCAÇÃO. SciELO Preprints, 2024. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.7697. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/7697>. Acesso em: 1 fev. 2025.
- VALIBEIG, N.; JAHANGARD, N. A Visual Representation of the Physical Changes of the Si-o-Se-Pol Bridge Based on Historical and Visual Document Analysis, with a Focus on Toll Gate Modeling. Manzar, [S. l.], v. 15, n. 63, p. 38–51, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22034/manzar.2022.340576.2189>.
- VAN DE MOORTELE, E.; ALLACKER, K.; DE TROYER, F.; STIJNEN, L.; SCHOOF, E. Life cycle environmental impact of refurbishment of social housing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, [S. l.], v. 323, n. 1, p. 012013, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012013>.
- VANDERVAEREN, C.; GALLE, W.; DE TEMMERMAN, N. Parametric Life Cycle Assessment of a Reusable Brick Veneer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, [S. l.], v. 323, n. 1, p. 012137, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012137>.
- VENABLE, John Robert e BASKERVILLE, Richard. Eating our own Cooking: Toward a More Rigorous Design Science of Research Methods. The Electronic Journal of Business Research Methods, Volume 10, p. 142. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285741099_Eating_our_own_cooking_Toward_a_more_rigorous_design_science_of_research_methods

VIEIRA, J. de A. ORGANIZAÇÃO E SISTEMAS. Informática na educação: teoria & prática, Porto Alegre, v. 3, n. 1, 2000. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/6363>. Acesso em: 7 jan. 2025.

VIEIRA, Jorge de Albuquerque. Ciência: formas de conhecimento – arte e ciência. Uma visão a partir da complexidade. Vol. 2. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2007.

WALKER, Linus; HISCHIER, Illias; SCHLUETER, Arno. Does context matter? Robust building retrofit decision-making for decarbonization across Europe. *Building and Environment*, v. 226. 2022.

WOODWARD, Alexa; HEESOM, David. Implementing HBIM on conservation heritage projects: Lessons from renovation case studies. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, v. 39, n. 1, p. 96-114, 2021.

WURMAN, Richard Saul; LEIFER, Loring; SUME, David. Ansiedade de informação 2. Editora de Cultura, São Paulo, 2001.

WYSOCKI, O.; HOEGNER, L.; STILLA, U. TUM-FACADE: Reviewing and enriching point cloud benchmarks for facade segmentation. In: FREGONESE, L.; FASSI, F.; REMONDINO, F. (org.). *ISPRS Archives*, [S. l.], v. XLVI-2/W1, p. 529–536, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-529-2022>.

YAN, O. J. C. C. Beyond the Front Elevation: A Conceptual Framework for Re(Thinking) Facadism. In: CRAWFORD, R. H.; STEPHAN, A. (org.). *Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association*. [S. l.]: University of Melbourne, 2015. p. 1041–1053.

YANG, X.; LU, Y.-C.; MURTIYOSO, A.; KOEHL, M.; GRUSSENMEYER, P. HBIM modeling from the surface mesh and its extended capability of knowledge representation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 7, p. 301,

2019. DOI: 10.3390/ijgi8070301. Disponible em:

<https://doi.org/10.3390/ijgi8070301>.

YILDIZ, H. The Preservation Problems of Masonry Houses in Baspinar Rural Settlement. In: MODENA, C.; DA PORTO, F.; VALLUZZI, M. R. (org.). Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls. [S. l.]: CRC Press, 2016. p. 797–803.

YONG, Ed. An immense world: how animal senses reveal the hidden realms around us. New York: Random House, 2022.

ZAZURCA, M.; ROSELL, J. R.; BOSCH, M.; SALA, M. A. House Puig i Cadafalch in Argentona, (Barcelona, Spain), initial rehabilitation project. Loggia, Arquitectura & Restauración, [S. l.], n. 33, p. 160–171, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4995/loggia.2020.10135>.

ZHANG, Haonan; HEWAGE, Kasun; PRABATHA, Tharindu; SADIQ, Rehan. Life cycle thinking-based energy retrofits evaluation framework for Canadian residences: A Pareto optimization approach. Building and Environment, v. 204, p. 108115, 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108115. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108115>.

ZHAO, X. B.; ZUO, J.; WU, G. D.; HUANG, C. A bibliometric review of green building research 2000-2016. Architectural Science Review, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 74–88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1485548>.

APÊNDICE A: PROTOCOLO DE APLICAÇÃO DO INDICADOR DE RIGIDEZ

INTRODUÇÃO

O presente documento elenca os procedimentos necessários para aplicar o indicador de rigidez desenvolvido na pesquisa de mestrado intitulada “Envoltória rígida: a permanência da identidade face às mudanças climáticas”.

Este indicador tem como objetivo uma representação objetiva de dados qualitativos relacionados à rigidez, a qual diz respeito ao valor simbólico-imagético da envoltória e sua repercussão em graus de restrições de projeto.

ESTRUTURA

1. IDENTIFICAÇÃO
2. CONSULTA
3. ANÁLISE
4. ATRIBUIÇÃO
5. CÁLCULO
6. COLEÇÃO DE PARÂMETROS UNIVERSAIS DE UMA ENVOLTÓRIA RÍGIDA

1. IDENTIFICAÇÃO

Este primeiro procedimento busca relacionar as características da envoltória que consideram-se relevantes para a imagem da edificação, chamados parâmetros de envoltória rígida, tendo como referência a coleção de parâmetros universais de uma envoltória rígida, que consta ao final deste documento, que elenca possíveis manifestações concretas de tais parâmetros.

1. Implementar filtragem de parâmetros: deve-se realizar a filtragem dos parâmetros presentes na envoltória que se pretende analisar por meio de *checklist*, segundo a classificação de parâmetros de envoltória rígida que está prevista na coleção de parâmetros universais.
2. Associar com outros tipos de análise (passo opcional): caso deseje-se que a análise da rigidez seja associada a outros tipos de análise da envoltória, a coleção filtrada de parâmetros deve passar por uma segunda filtragem cujo critério é a relevância destes parâmetros para a outra análise com que deseja-se associar, a exemplo do desempenho térmico.

2. CONSULTA

Este processo prevê a necessidade de levantar dados qualitativos sobre a percepção e memória da edificação que se pretende analisar, pelo que são apreciados os graus de rigidez que cada parâmetro que caracteriza sua envoltória apresenta.

1. Determinar grupo representativo: para coleta de dados, é necessário investigar para qual público interessa a imagem da edificação, a fim de delimitar um grupo de pessoas com perfil representativo deste interesse, do qual devem ser levantados dados sobre a percepção da imagem da edificação;
2. Aplicar questionário: através de estratégia de questionário estruturado, devem ser apreciados pelo grupo representativo os parâmetros filtrados na etapa de identificação, a partir de uma escala Likert de apreciação de 1 a 5.

3. Tabular dados: com a aplicação do questionário, os dados coletados devem ser tabulados, seja de forma automática ou não, de modo que cada coluna corresponda aos parâmetros (sendo suas *headers* redigidas com o seguinte padrão “Elemento/Fachada [parâmetro: instância]”, ex: “Parede [cor: bege]”) e cada linha corresponda aos respondentes.

3. ANÁLISE

Este procedimento busca analisar os parâmetros apreciados na etapa de consulta de modo a obter os graus de rigidez correspondentes a cada um deles.

1. Aplicar média: com os dados ordinais coletados e tabulados, deve ser aplicada uma média aritmética simples para cada parâmetro apreciado, cada um apresentando um conjunto de dados ordinais (colunas), a fim de obter os graus de rigidez de cada parâmetro, intitulados como “valores de rigidez”.

4. ATRIBUIÇÃO

A atribuição é o procedimento pelo qual são organizados os valores de rigidez e atribuídos aos objetos que o apresentam, isto é, cada fachada ou cada elemento arquitetônico deve receber os valores de rigidez que correspondem às suas características.

1. Identificar parâmetros das instâncias: é necessário identificar em cada fachada ou elemento arquitetônico os parâmetros de envoltória rígida que os caracterizam.
2. Selecionar de valores de rigidez: os valores de rigidez devem ser atribuídos aos elementos arquitetônicos ou fachadas mediante uma seleção em conformidade às instâncias de seus parâmetros.

5. CÁLCULO

O procedimento de cálculo consiste na aplicação das expressões do indicador de rigidez. O indicador de rigidez foi definido em dois tipos: geral (para fachadas) e específica (para elementos arquitetônicos). O indicador de rigidez geral tem como

input os valores de rigidez dos parâmetros de classe geral. O indicador de rigidez tem como *input* os valores de rigidez dos parâmetros de classes de componentes e de atributos. A partir dos valores de rigidez atribuídos, é possível calcular graus de rigidez de cada elemento ou fachada.

1. Calcular rigidez específica: deve-se calcular, primeiramente, a rigidez específica, uma vez que os valores de rigidez específica dos elementos são dados de entrada para o cálculo de rigidez geral das fachadas, sendo utilizada a expressão abaixo.

$$IR_e = \Sigma ((2 Pa_i + Pc) / 3) / na$$

Onde:

IR_e = indicador de rigidez específica

P_c = Valor de grau de rigidez do parâmetro de classe de componentes identificado na envoltória

P_a = Valores de grau de rigidez dos parâmetros de classe de atributos identificados na envoltória

i = iterador do índice de elementos pertencentes a conjunto P_a

na = Quantidade de parâmetros de classe de atributos identificados na envoltória

2. Calcular rigidez geral: deve-se calcular rigidez geral utilizando a expressão apresentada abaixo.

$$IR_g = ((\Sigma IR_e / n_c) + (\Sigma P_g / n_{pg})) / 2$$

Onde:

IR_g = Indicador de rigidez geral

IR_e = Indicadores de rigidez específica

P_g = Valores de grau de rigidez dos parâmetros de classe de geral identificados na envoltória

n_c = Quantidade de componentes analisados na fachada

n_{pg} = Quantidade de parâmetros de classe geral identificados na envoltória

6. COLEÇÃO DE PARÂMETROS UNIVERSAIS DE UMA ENVOLTÓRIA RÍGIDA

PARÂMETROS DE CLASSE GERAL: A classe geral integra os parâmetros irredutíveis que descrevem a totalidade do sistema da envoltória rígida.

Relações formais

- Complexidade formal
- Relação com o entorno construído
- Relação com o ambiente natural
- Relações de cheio e vazio
- Relação figura e fundo
- Repetição de elementos/ritmo
- Quantidade de elementos
- Acesso/entrada
- Eixo
- Simetria/assimetria
- Similaridade
- Continuidade
- Proximidade

PARÂMETROS DE CLASSE DE COMPONENTES: A classe de componentes elenca os parâmetros que descrevem a envoltória a partir dos elementos arquitetônicos.

Vedação

- Parede
- Cobertura

Aberturas

- Janelas
- Portas
- Elementos de iluminação zenital
- Elementos vazados (Elementos de abertura para iluminação e ventilação natural)
- Elementos de proteção de abertura

Estrutura

- Pilares
- Vigas
- Laje
- Arcos
- Cascas
- Tenda
- Cabos
- Placas
- Cúpula
- Treliças
- Abóbada

PARÂMETROS DE CLASSE DE COMPONENTES (CONTINUAÇÃO)
<p>Elementos de circulação vertical</p> <p>Escadas Elevadores Rampas</p>
<p>Serviços e comunicação</p> <p>Instalações Calhas e condutores Sinalização Reservatórios</p>
<p>Elementos de decoração</p> <p>Vegetação (Elementos de plantio) Iluminação artificial Elementos decorativos</p>

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS: A classe de atributos relaciona parâmetros que descrevem a envoltória a partir das propriedades dos seus elementos arquitetônicos.
<p>Paredes</p> <p><i>posicionamento</i> pisos de origem orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste)</p> <p><i>geometria</i> dimensões (altura, largura, espessura) tipo de linha de construção (curva, reta) método de geometria (paralelo, poligonal, trapezoidal) perfil (comum, personalizado) inclinação (reta, oblíqua)</p> <p><i>composição</i> sistema construtivo/materialidade acabamentos externos (cor, textura)</p>
<p>Portas</p> <p><i>posicionamento</i> pisos de origem posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede)</p> <p><i>geometria</i> dimensões (altura, largura, espessura) tipo de abertura (fixa, de abrir, de correr, basculante, pivotante) formato (retangular, circular, triangular etc) folhas (opaca, translúcida, permeável, impermeável, mista, uniforme, com grid) maçaneta (acessórios? ornamentos?)</p> <p><i>composição</i> materialidade/acabamentos externos (cor, textura)</p>

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS (CONTINUAÇÃO)	
<p>Janelas</p> <p><i>posicionamento</i></p> <p>piso de origem</p> <p>posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede)</p> <p>peitoril</p> <p><i>geometria</i></p> <p>dimensões (altura, largura, espessura)</p> <p>tipo de abertura (fixa, de abrir, de correr, basculante, pivotante, maxim ar)</p> <p>formato (retangular, circular, triangular, hexagonal etc)</p> <p>folhas (opaca, translúcida, permeável, impermeável, mista, uniforme, com grid)</p> <p>puxador (acessórios? ornamentos?)</p> <p><i>composição</i></p> <p>materialidade/acabamentos externos (cor, textura)</p> <p>Elementos de iluminação zenital e elementos vazados</p> <p><i>posicionamento</i></p> <p>piso de origem</p> <p>posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto na parede)</p> <p>peitoril</p> <p><i>geometria</i></p> <p>dimensões da abertura (altura, largura, espessura)</p> <p>formato da abertura</p> <p><i>composição</i></p> <p>sistema construtivo</p> <p>materialidade/acabamentos externos (cor, textura)</p>	
<p>Elementos de proteção de abertura (brise soleil)</p> <p><i>posicionamento</i></p> <p>piso de origem</p> <p>posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto na parede)</p> <p>peitoril</p> <p><i>geometria</i></p> <p>dimensões (comprimento, largura, espessura)</p> <p>formato</p> <p>inclinação</p> <p><i>composição</i></p> <p>sistema construtivo</p> <p>materialidade/acabamentos externos (cor, textura)</p>	
<p>Cobertura</p> <p><i>posicionamento</i></p> <p>piso de origem</p> <p>orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) direções do caimento</p> <p>das águas</p> <p><i>geometria</i></p> <p>dimensões das águas (comprimento, largura, espessura)</p> <p>altura total da cobertura ou inclinação</p> <p>tamanho do beiral</p> <p>quantidade de águas (ou formato de abóbada, cúpula, laje, tenda)</p> <p><i>composição</i></p> <p>sistema construtivo</p> <p>tipo de telha (se houver)</p> <p>materialidade/acabamentos externos (cor, textura)</p>	

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS (CONTINUAÇÃO)	
Pilares	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (dimensões da seção, altura) formato da seção (retangular, circular) inclinação <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Vigas	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (dimensões da seção, comprimento) <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Treliças e estruturas atirantadas	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição na parede (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões da seção (comprimento, altura, espessura) formatos inclinação <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Escadas	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> formato (linear, L, U, helicoidal) largura tamanho do espelho do degrau tamanho do piso do degrau dimensões (comprimento, largura) do patamar dimensões do guarda-corpo

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS (CONTINUAÇÃO)	
Escadas	<p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Rampas	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> formato (linear, formato em L, formato em U, helicoidal) dimensões (comprimento, altura, largura) inclinação <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Elevadores	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões da caixa (comprimento, altura, largura) <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Lajes	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato inclinação <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Cascas e placas	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação e inclinação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS (CONTINUAÇÃO)	
Arcos	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato inclinação tamanho do raio <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> sistema construtivo materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Elementos de serviços (instalações, calhas e condutores, reservatórios)	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação e inclinação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> materialidade/acabamentos externos (cor, textura)
Elementos de sinalização e comunicação (placas sinalizadoras, propagandas, graffiti, pixo)	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação e inclinação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato conteúdo (texto/ilustração) <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> materialidade/acabamentos externos (cores, texturas)
Elementos decorativos e iluminação artificial	<p><i>posicionamento</i></p> <ul style="list-style-type: none"> piso de origem posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede) orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste) <p><i>geometria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> dimensões (comprimento, altura, largura) formato <p><i>composição</i></p> <ul style="list-style-type: none"> materialidade/acabamentos externos (cor, textura)

PARÂMETROS DE CLASSE DE ATRIBUTOS (CONTINUAÇÃO)**Vegetação***posicionamento*

pisos de origem

posição (afastamento no plano e na normal, ponto pertencente à parede)

orientação (para norte, para sul, para leste, para oeste)

geometria

espécie

porte

formato da copa (se houver definição desta)

cor

APÊNDICE B: PROTOCOLO DE APLICAÇÃO DO WORKFLOW

INTRODUÇÃO

O presente documento elenca os procedimentos necessários para aplicar o *workflow* desenvolvido na pesquisa de mestrado intitulada “Envoltória rígida: a permanência da identidade face às mudanças climáticas”.

Este *workflow* tem como objetivo produzir uma interface de representações gráficas para auxiliar decisões de projeto no que diz respeito à imagem e ao desempenho térmico das envoltórias das edificações.

ESTRUTURA

1. INSTALAÇÃO DE SOFTWARES E PLUGINS

1.1 Requisitos mínimos

1.2 Softwares e plugins

2. CONFIGURAÇÃO DO MODELO BIM

2.1. Práticas de modelagem para bom funcionamento

2.2. Criação de propriedades

2.3. Lista de propriedades pré definidas no template

2.4. Definição da área translúcida das esquadrias

3. OPERAÇÃO DO WORKFLOW E VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS.

3.1. Conexão com modelo BIM

3.2 Importação de tabela de dados

3.3 Simulação

1. INSTALAÇÃO DE SOFTWARES E PLUGINS

1.1 Requisitos mínimos

Os requisitos mínimos para executar as aplicações que integram o *workflow* são os indicados abaixo.

- OS: Windows 10/11 (64 bits) ou macOS 12;
- CPU: Intel/AMD 64-bit, multicore (recomenda-se i7 ou Ryzen 7);
- RAM: mínimo 8 GB (recomenda-se 16 GB);
- GPU: GeForce GTX 1650 ou Radeon RX 550 com 4 GB VRAM;
- Armazenamento: SSD com 10 GB livres;
- Tela: 1920×1080

1.2 Softwares e plugins

É necessária a instalação das seguintes aplicações nas versões especificadas:

- Archicad 28 - modelagem da edificação.
- Rhinoceros 3D 8 + Grasshopper - parametrização da informação e aplicação do algoritmo.
- Grasshopper-Archicad Live Connection - download em <<https://www.food4rhino.com/en/app/rhinoceros-archicad-connection>>.
- Ladybug Tools 1.8.0 - simulação de desempenho térmico. Download em <<https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools>>.
- Microsoft Excel - organização e leitura de planilhas.
- Lunchbox 2025.5.5.0 - leitura de dados da planilha. Download em <<https://www.food4rhino.com/en/app/lunchbox>>.
- Human UI - representação gráfica de dados do algoritmo. Download em: <<https://www.food4rhino.com/en/app/human-ui>>.

2. CONFIGURAÇÃO DO MODELO BIM

Para a modelagem BIM da edificação, foi escolhido o Nível de Desenvolvimento (LOD) 400. Neste LOD, a representação dos elementos arquitetônicos encontra-se em um nível de detalhe intermediário, contendo informações suficientes para a execução do *workflow*. Nessa fase, o modelo BIM deve incluir informações precisas da geometria e propriedades construtivas dos elementos BIM. São dispensadas, por exemplo, maiores especificações como detalhamentos de fabricação, montagem, instalação ou sistemas mais complexos, como hidráulico ou luminotécnico.

Recomenda-se utilizar o template específico (.tpl) para utilização do *workflow*, que contém configurações personalizadas para leitura de propriedades de qualquer projeto do Archicad. Para isso, o projeto deverá ser modelado ou importado a partir do template. Caso o usuário deseje aplicar as suas próprias configurações, ou complementar as configurações pré definidas no template, basta seguir o passo a passo explicado nos tópicos 2.2 a 2.4. Os requisitos de modelagem do tópico 2.1 são obrigatórios.

2.1. Práticas de modelagem para bom funcionamento:

- Obedecer às categorias de elementos BIM que o Archicad estabelece (não utilizar “paredes” para modelar “pilares”, por exemplo).
- Utilizar nomes de superfícies que incluam: “branco”, “branca”, “amarelo”, “amarela”, “laranja”, “vermelho”, “vermelha”, “bege”, “vermelha-escura”, “vermelho-escuro”, “verde”, “azul”, “marrom”, “verde-escura”, “verde-escuro”, “azul-escura”, “azul-escuro”, “marrom-escura”, “marrom-escuro”, “preto” ou “preta”.

OBS: é possível incluir outras cores e seus respectivos valores de absorvâncias adicionando outra linha de código no componente “Absorvâncias” no Grasshopper.

- Utilizar nas composições dos elementos nomenclaturas dentre as seguintes: “água”, “algodão”, “amianto projetado”, “amianto”, “areia seca”, “areia úmida”, “argamassa de cal e cimento”, “argamassa de cal”, “argamassa

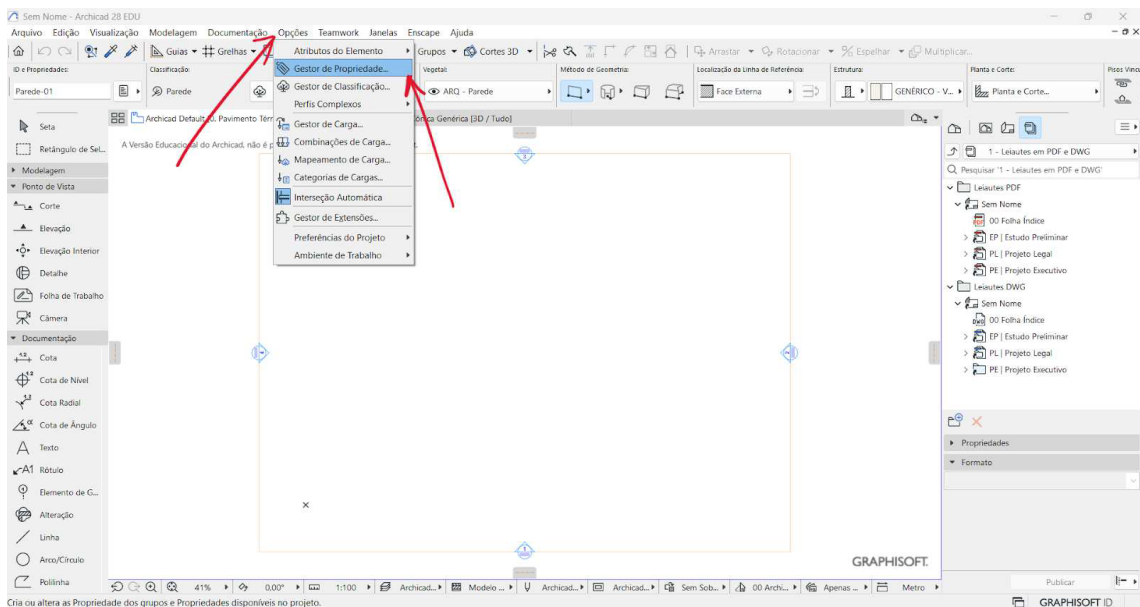
de cimento", "argamassa celular", "argamassa de gesso", "argamassa de cal e gesso", "argila", "asfalto puro", "asfalto com areia", "formofenólico", "mastique para junta", "poliamida", "policlorure de vinil", "poliéster", "polietileno", "cerâmico", "cimento-amianto", "cimento-amianto-celulose", "concreto aparente", "concreto armado", "concreto comum", "concreto comum cavernoso", "concreto comum cavernoso com 50% de calcário", "concreto com vermiculite", "concreto com pedra pome", "placa de concreto com vermiculite fabricado na usina", "concreto com argila expandida", "concreto com escória expandida granulada com areia", "concreto com escória expandida", "concreto celular autoclavado", "concreto celular bloco", "concreto de cascalho", "concreto sem finos", "concreto com agregado pesado de escória de alto forno", "concreto com agregado pesado de escória de alto forno cavernoso", "cortiça em placas", "cortiça de granulado", "cortiça comprimida", "feltro", "feltro asfáltico", "feltro de crina", "feltro de lã", "fibra de vidro", "gesso celular", "gesso placa", "gesso paramentado com cartão antichama", "gesso com fibra mineral", "gesso projetado", "gesso com vermiculite 1:1", "gesso com vermiculite 1:2", "lã de escória", "lã de ovelha", "lã de rocha", "lã de vidro", "abeto", "cedro", "balsa", "carvalho", "frutífero", "pinho perpendicular a fibra", "pinho paralelo a fibra", "fibra de madeira", "lasca de madeira", "aglomerado mole isolante", "painel de fibra de madeira isolante", "painel de fibra de madeira duro", "painel de fibra de madeira eitraduro", "painel de fibra de madeira aglomerada", "painel de fibra de madeira aglomerada e compensada", "aço", "aço inoxidável", "alumínio", "chumbo", "cobre", "duralumínio", "ferro fundido", "ferro puro", "latão", "zinco", "palha comprimida", "papelão", "papelão corrugado", "ardósia", "arenito", "basalto", "calcário", "gnaisse", "granito", "gres", "mármore", "pedreireira", "pedregulho", "pórfiro", "poliestireno expandido moldado", "poliestireno moldado pin i or via úmida", "poliestireno moldado pin i or via seca", "polietileno estruturado", "espuma rígida de poliuretano", "espuma formofenólica", "plástico alveolar", "telha de barro moldado", "telha cerâmica", "telha fibrocimento", "terra argilosa seca", "terra comprimida", "terra úmida", "tijolo de concreto furado", "tijolo maciço prensado", "vidro".

OBS: é possível incluir outros materiais e seus respectivos lambdas adicionando outra linha de código no componente "Lambdas" no Grasshopper.

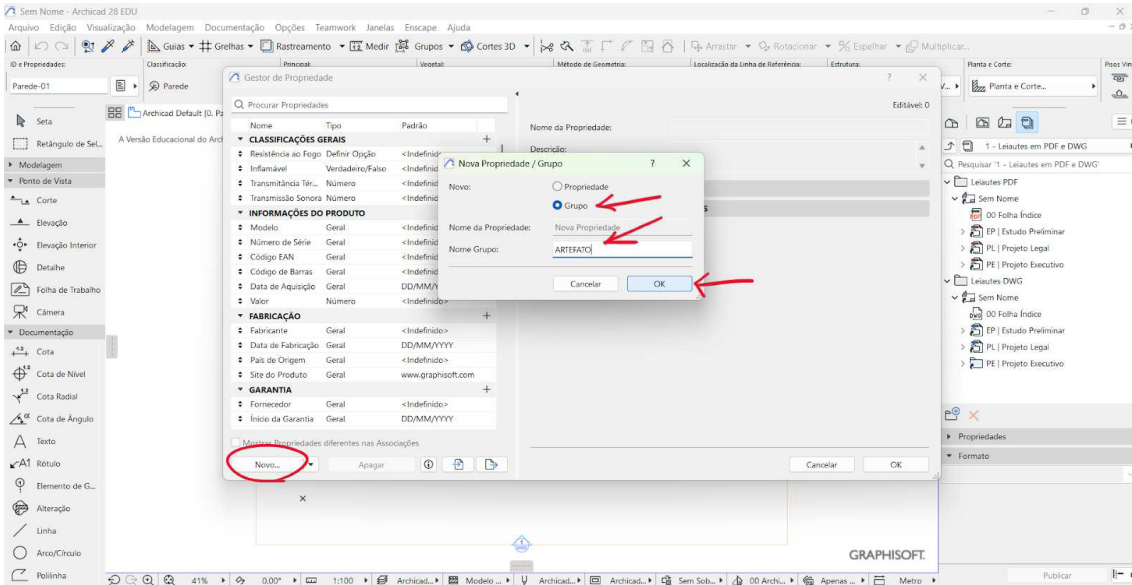
- Nomear as composições de parede e de cobertura acordo com a seguinte estrutura: “material 1, espessura 1, material 2, espessura 2, ... material n, espessura n”
- Para o cálculo do desempenho térmico, as cores e os materiais das esquadrias serão extraídos dos marcadores ID. Por isso, será necessário manter atualizado no marcador ID de cada esquadria do projeto sua cor e material.

2.2. Criação de propriedades

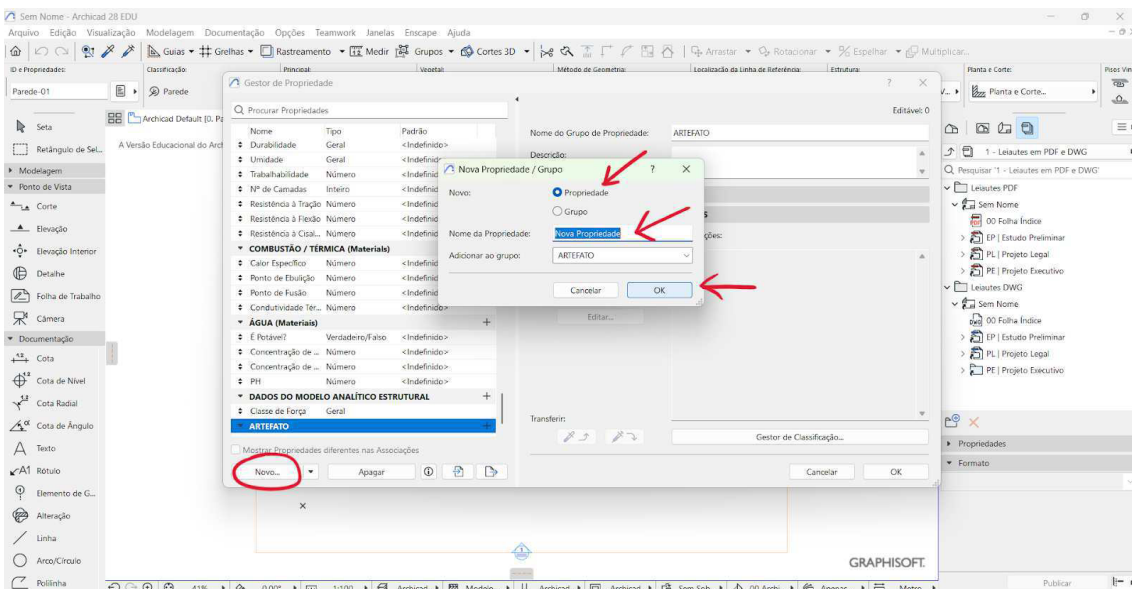
1. Para criar certas propriedades no Archicad que serão importantes para a aplicação do indicador posteriormente, clicar em “Opções” na barra superior e em seguida clicar em “Gestor de Propriedade”. Para o presente algoritmo será necessário criar as seguintes propriedades: Área de abertura da parede, Área da parede e Superfície da parede.



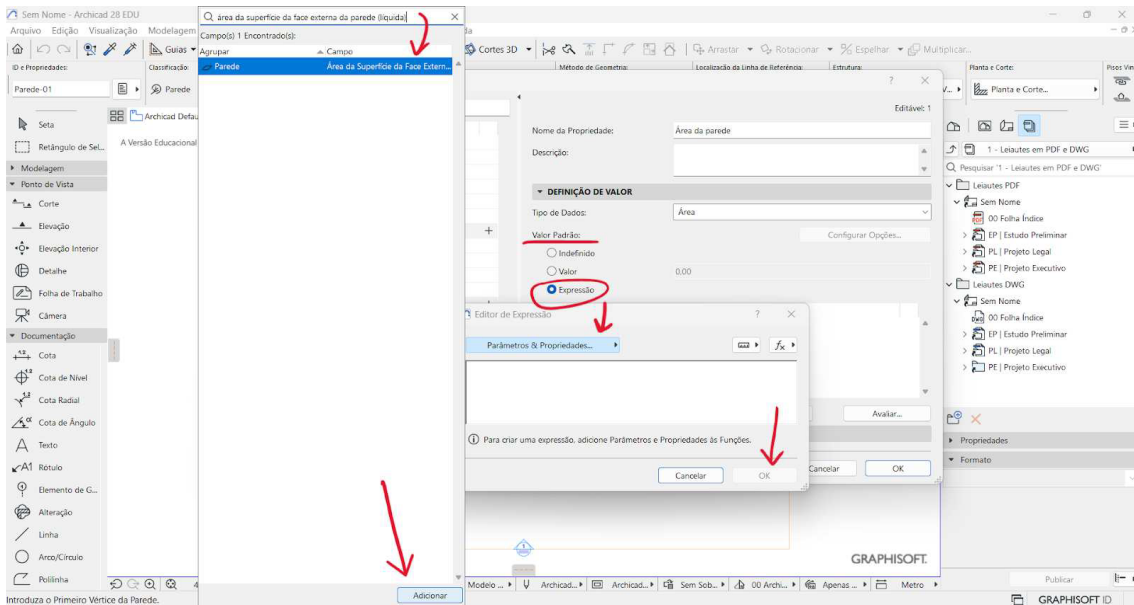
- Com o Gestor de Propriedade aberto, clicar em “Novo” -> “Grupo”, inserir o nome do grupo (nesse caso, “ARTEFATO”) e clicar em “OK”.



- Selecionar o novo grupo criado e clicar em “Novo” novamente, dessa vez para criar uma “Propriedade”. Inserir o nome da propriedade e clicar em “OK”. Repetir o processo para cada uma das propriedades citadas no passo 1.



- Com a propriedade selecionada, clicar na barra de “Tipos de dados” e selecionar o correto. Na parte de “Valor padrão”, clicar em “Expressão” -> “Parâmetros e propriedades” -> “Procurar” os parâmetros necessários -> “Adicionar” -> “OK”. Exemplo:



- Após definir o valor de cada propriedade, clicar em “OK”, na janela do Gestor de Propriedade.

2.3. Lista de propriedades pré definidas no template

São listadas, para conhecimento, as propriedades personalizadas que foram pré definidas no template:

- Nome: Área de abertura da parede
Tipo de dado: Área
Expressão: Área das Janelas + Área das Portas
- Nome: Área da parede
Tipo de dado: Área
Expressão: Área da Superfície da Face Externa da Parede (Líquida)
- Nome: Área da esquadria
Tipo de dado: Área
Expressão: Área da Superfície da Abertura no Lado do Requadro da J/P

- Nome: Área translúcida das esquadrias
Tipo de dado: Definir opção
Valor: 30%, 50%, 70%, 90%, 100%
- Nome: Área do pilar
Tipo de dado: Área
Expressão: Volume do Núcleo do Pilar (Bruto) / Largura Núcleo
- Nome: Área da viga
Tipo de dado: Área
Expressão: Área da Superfície do Lado Esquerdo da Viga (Líquida)
- Nome: Superfície da parede
Tipo de dado: Geral
Expressão: Superfície da face externa
- Nome: Superfície do pilar
Tipo de dado: Geral
Expressão: Superfície Terminação
- Nome: Superfície da viga
Tipo de dado: Geral
Expressão: Superfície Extremidade

2.4. Definição da área translúcida das esquadrias

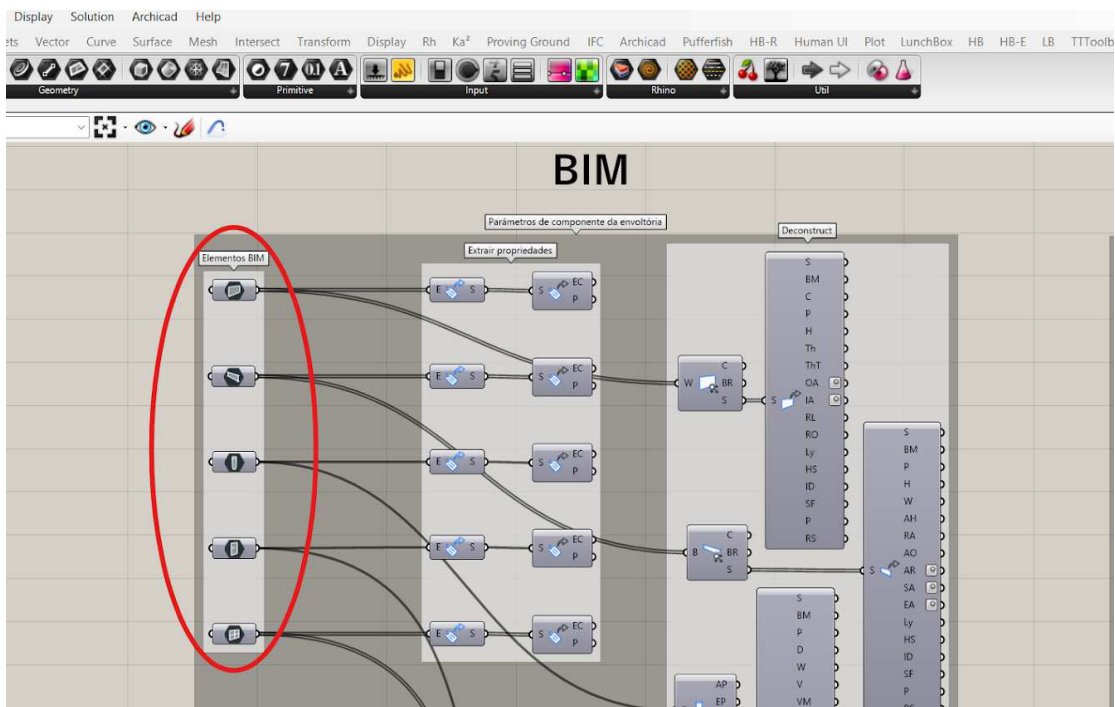
É necessária a configuração da área translúcida das esquadrias para o cálculo de ganhos de calor da superfície translúcida da envoltória. Esta configuração deve ser feita a partir dos seguintes passos:

1. Abrir as definições da janela ou da porta selecionada.
2. Expandir a aba de classificação e propriedades.
3. Navegar até a propriedade criada no ARTEFATO, “Área translúcida das esquadrias” e clicar na setinha ao lado do nome.
4. Escolher a transparência da esquadria dentre as opções criadas.
5. Clicar em OK e repetir o processo para cada esquadria do projeto.

3. OPERAÇÃO DO WORKFLOW E VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS.

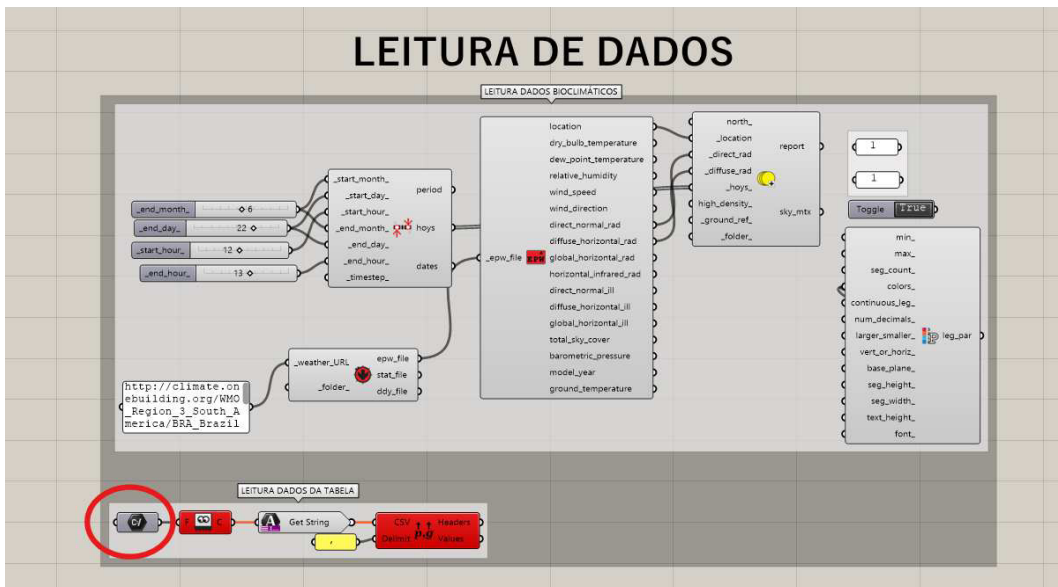
3.1 Conexão com modelo BIM

1. Ao abrir um novo arquivo Rhino, garantir que suas unidades de medida estejam em conformidade às unidades do modelo BIM (convencionalmente em metros). Para alterá-las, clicar em: "File" -> "Properties" -> "Units" -> "Model units" -> "Meters".
2. Com o projeto aberto no Archicad, abrir o arquivo Grasshopper.
3. Na barra superior direita, clicar em "Archicad" -> "Archicad Connection Palette" -> "Start Connection".
4. Na coluna "BIM", selecionar por fachada os elementos com base em suas classificações no Archicad (ex: parede, porta, janela). Para isso, selecionar o(s) elemento(s) no Archicad, clicar com o botão direito do mouse em cima do respectivo botão de elemento no Grasshopper e em seguida clicar em "Set one [elemento] in Archicad" ou "Set Multiple [elementos] in Archicad".

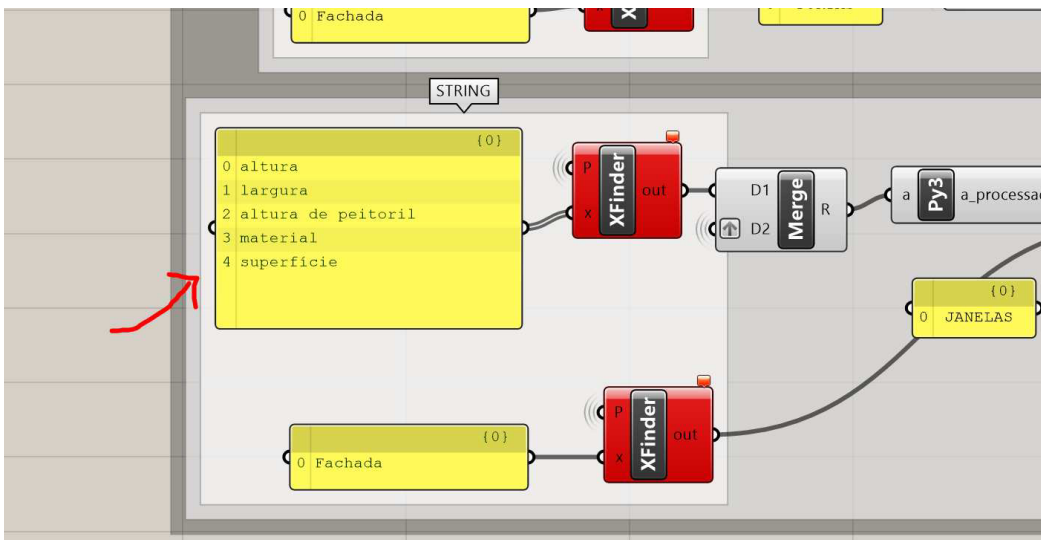


3.2 Importação de tabela de dados

1. No Grasshopper, clicar com o botão direito do mouse no componente “file path”, na coluna “LEITURA DE DADOS”;
2. Clicar em “Select one existing file” e selecionar o arquivo em formato .csv;

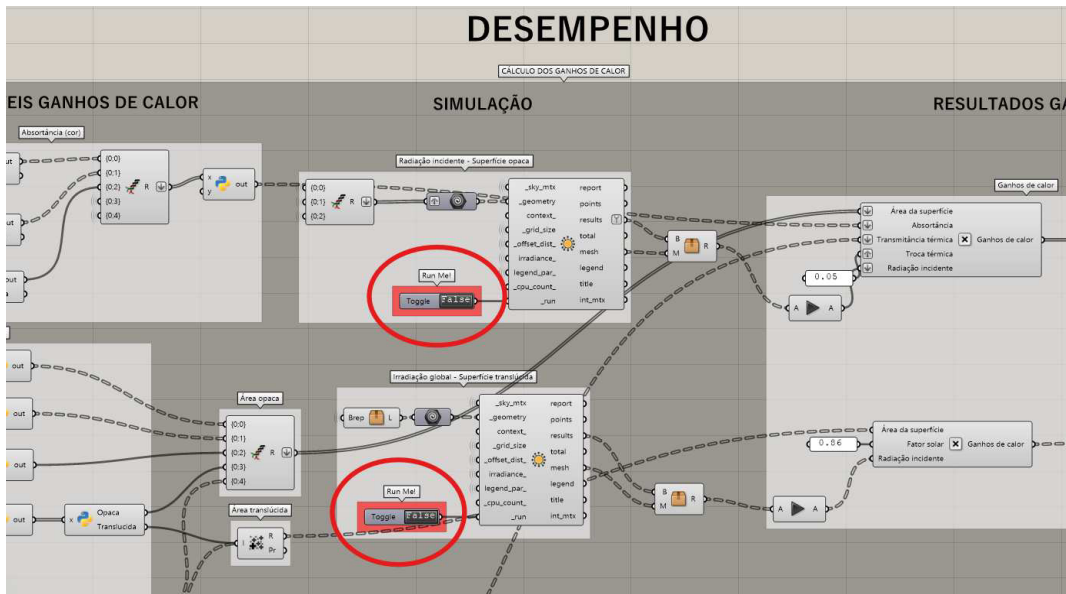


3. Indicar em componente “panel” do Grasshopper a lista de propriedades BIM que se deseja analisar para cada classe de elementos BIM.



3.3 Simulação

1. Na coluna de “DESEMPENHO” do Grasshopper, no grupo de componentes “SIMULAÇÃO”, clicar duas vezes com o botão esquerdo do mouse no espaço escrito “False” dos Toggles para que liguem e o escrito se torne “True”, em cada fachada.



APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO ONLINE

QUESTIONÁRIO: A IMAGEM DO PAVILHÃO REITOR MARTINS FILHO

Este questionário refere-se à pesquisa de mestrado intitulada “Envoltórias rígidas: a permanência da identidade face às mudanças climáticas”, pela qual busca-se investigar aspectos visuais relevantes das edificações (parâmetros de rigidez) e sua influência para tanto para imagem da edificação quanto para seu desempenho térmico.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado como participante da pesquisa intitulada “ENVOLTÓRIA RÍGIDA: A PERMANÊNCIA DA IDENTIDADE FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A presente pesquisa tem como objetivo investigar o que define a rigidez de uma envoltória (ou seja, atributos que definem valor simbólico e imagético, conferindo caráter imutável) em edificações e explorar como adaptar edificações já existentes para cenários em que elas precisem sofrer intervenções, como para enfrentar mudanças climáticas, e ao mesmo tempo, de forma a preservar sua identidade e aspectos importantes para sua imagem e memória. Para isso, será produzido um indicador para análise de rigidez, com base nos dados coletados neste questionário, tratando das opiniões que estudantes e professores do IAUD possuem sobre as características mais importantes da envoltória do estudo de caso, o Pavilhão Reitor Martins Filho.

Algumas observações importantes:

1. Fica garantido o sigilo das informações relativas aos respondentes;
2. As informações coletadas serão utilizadas somente com a finalidade de contribuir com esta pesquisa;
3. Os pesquisadores se dispõem a fornecer ao respondente e/ou a instituição a que é vinculado(a) uma cópia eletrônica dos resultados da pesquisa, caso haja manifesto interesse;
4. Nenhuma pergunta possui respostas certas ou erradas, sendo de interesse dos pesquisadores tão somente entender o que os respondentes julgam ser importante acerca do fenômeno em investigação;

5. A participação dos entrevistados não tem relação com a avaliação dos mesmos na disciplina, ficando os mesmos livres para responder, sem que lhes traga prejuízo;

6. Não há qualquer tipo de vantagem ou pagamento para a participação nesta pesquisa.

Os riscos inerentes a este tipo de pesquisa envolvem: desconforto, possibilidade de constrangimento ao responder ao questionário, medo de não saber responder ou de ser identificado, estresse, quebra de sigilo, cansaço ou vergonha ao responder às perguntas, quebra de anonimato. Apesar disso, você tem assegurado o direito a ressarcimento ou indenização no caso de quaisquer danos eventualmente produzidos pela pesquisa. Todos os esforços serão feitos para proteger a confidencialidade do participante, entretanto, este poderá recusar-se a continuar participando da pesquisa ou poderá retirar o seu consentimento a qualquer momento sem que isso lhe traga prejuízo. Os resultados obtidos desta pesquisa poderão trazer benefícios para as práticas de pesquisa, ensino e aprendizagem de projetos em Arquitetura e Urbanismo, uma vez que trazem luz às questões relativas à implementação de novas tecnologias que contribuem para o desenvolvimento de projetos.

Ao responder esse formulário você declara que concorda em participar da pesquisa e permite que os dados coletados sejam utilizados para análise. Nos comprometemos em manter a confidencialidade sobre os dados coletados ao publicar os resultados da pesquisa. As respostas são anônimas e o email será requisitado apenas para controle da quantidade de respostas por pessoa.

- Declaro que é de livre e espontânea vontade que estou participando de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas.

Etapa 01 (Verificação da ficha de desenho)

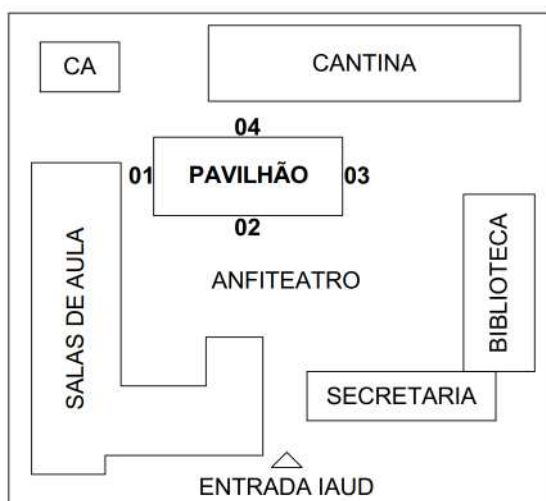
Observe a ficha que você preencheu na etapa produção de desenho e informe abaixo o número da folha que utilizou. Este número consta no carimbo da ficha de desenho.

Número da sua folha de desenho

Etapa 02

Esta etapa será realizada através de questões objetivas em uma escala de 1 a 5, devendo ser analisados aspectos gerais de cada fachada para a imagem do Pavilhão Reitor Martins Filho.

DIAGRAMA ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS (01, 02, 03 e 04)



Numa escala de 1 a 5, classifique a relevância dos seguintes aspectos das Fachada 01, 02, 03 e 04 para a imagem do Pavilhão Reitor Martins Filho, sendo:

- 1 - Nada relevante
- 2 - Pouco relevante
- 3 - Moderadamente relevante
- 4 - Relevante
- 5 - Muito relevante

GERAL - FACHADA 01

	1	2	3	4	5
Relações de cheio e vazio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com a área edificada do entorno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com o ambiente natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

GERAL - FACHADA 02

	1	2	3	4	5
Relações de cheio e vazio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com a área edificada do entorno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com o ambiente natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

GERAL - FACHADA 03

	1	2	3	4	5
Relações de cheio e vazio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com a área edificada do entorno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com o ambiente natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

GERAL - FACHADA 04

	1	2	3	4	5
Relações de cheio e vazio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com a área edificada do entorno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Relação com o ambiente natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Etapa 03

Esta etapa será realizada através de questões objetivas em uma escala de 1 a 5, onde serão analisados os elementos arquitetônicos (componentes) do Pavilhão Reitor Martins Filho.

Numa escala de 1 a 5, classifique a relevância dos seguintes elementos arquitetônicos (componentes) para a imagem do Pavilhão Reitor Martins Filho, sendo:

- 1 - Nada relevante
- 2 - Pouco relevante
- 3 - Moderadamente relevante
- 4 - Relevante
- 5 - Muito relevante.

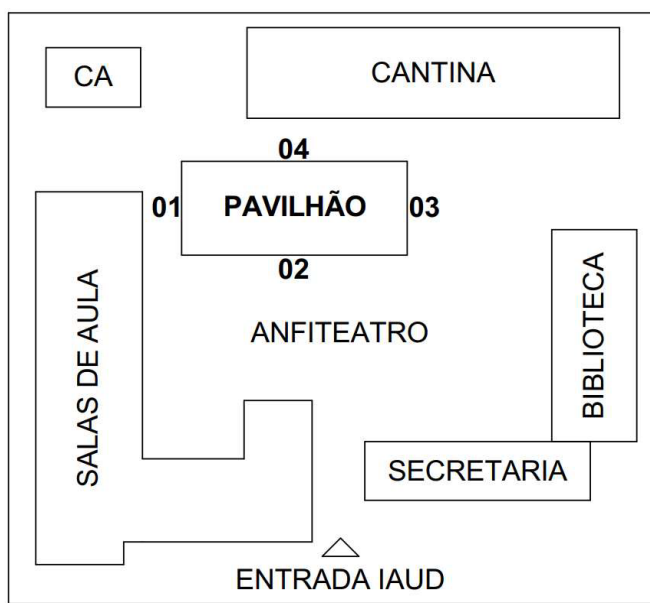
COMPONENTES

	1	2	3	4	5
paredes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cobertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pilares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Etapa 04

Esta etapa será realizada através de questões objetivas em uma escala de 1 a 5, onde serão analisadas algumas características dos elementos arquitetônicos (componentes) do Pavilhão Reitor Martins Filho.

DIAGRAMA ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS (01, 02, 03 e 04)



Numa escala de 1 a 5, classifique as seguintes características de cada elemento arquitetônico (componente) de acordo com sua importância para a imagem do Pavilhão Reitor Martins Filho, sendo:

- 1 - Nada relevante
- 2 - Pouco relevante
- 3 - Moderadamente relevante
- 4 - Relevante
- 5 - Muito relevante.

PAREDES

	1	2	3	4	5
tamanho: alturas maiores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: alturas menores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: larguras maiores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: larguras menores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: espessuras maiores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: espessuras menores de parede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: paredes que pertencem fachada 01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: paredes que pertencem fachada 02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: paredes que pertencem fachada 03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: paredes que pertencem fachada 04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor bege das paredes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor branca das paredes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

PILARES

	1	2	3	4	5
tamanho: alturas maiores de pilar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: alturas menores de pilar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: seção maior de pilares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: seção menor de pilares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: pilares que pertencem fachada 01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: pilares que pertencem fachada 02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: pilares que pertencem fachada 03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: pilares que pertencem fachada 04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor branca dos pilares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

VIGAS

	1	2	3	4	5
formato: vigas em "C"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
formato: vigas retangulares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: comprimentos maiores das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: comprimentos menores das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: vigas que pertencem fachada 01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: vigas que pertencem fachada 02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: vigas que pertencem fachada 03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionament o: vigas que pertencem fachada 04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: o metal das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: a madeira das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor marrom das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor vermelha das vigas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

PORTAS

	1	2	3	4	5
tamanho: a altura das portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: larguras menores das portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: larguras maiores das portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: portas que pertencem fachada 01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: portas que pertencem fachada 02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: portas que pertencem fachada 03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: portas que pertencem fachada 04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: a madeira das portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: madeira e vidro das portas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: metal do portão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: a cor "marrom" das portas de madeira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: a cor "vermelha" do portão metálico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

JANELAS

	1	2	3	4	5
tamanho: largura das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: alturas maiores das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: alturas menores das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas mais baixas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas mais altas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas que pertencem fachada 01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas que pertencem fachada 02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas que pertencem fachada 03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
posicionamento: janelas que pertencem fachada 04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: metal e vidro das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: madeira das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: madeira e vidro das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor verde das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor marrom das janelas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

COBERTURA

	1	2	3	4	5
tamanho: as dimensões dos planos/faces da cobertura (largura e comprimento)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: tamanho das "bordas" da cobertura (beiral)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tamanho: a inclinação da cobertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
formato: a quantidade de planos/faces da cobertura (duas)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
materialidade: metal e material de enchimento da cobertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cor: a cor cinza da cobertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE D: FICHAS DE DESENHO

PESQUISA PARA ELABORAÇÃO DE INDICADOR DE RIGIDEZ DE ENVOLTÓRIAS - ETAPA 01: DESENHO COMO VALIDAÇÃO

Faça um desenho do Pavilhão Reitor Martins Filho, priorizando as características que mais te fazem lembrar dele.

Estudo de caso: Pavilhão Reitor Martins Filho

Número da folha: 01

Grupo: 01

Data: 16/07/2025

Assinale qual (ou quais) fachada(s) você desenhou, vide diagrama ao lado:

- Fachada 01 Fachada 03
 Fachada 02 Fachada 04

NÃO PREENCHER A SEGUIR (preenchimento por parte dos pesquisadores)

Elementos arquitetônicos registrados: _____



APÊNDICE E: RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

GERAL - FACHADA 01 [Relações de cheio e vazio]	GERAL - FACHADA 01 [Relação com a área edificada do entorno]	GERAL - FACHADA 01 [Relação com o ambiente natural]	GERAL - FACHADA 02 [Relações de cheio e vazio]	GERAL - FACHADA 02 [Relação com a área edificada do entorno]
3	5	5	4	4
4	3	2	4	3
2	4	4	2	4
3	3	4	4	4
2	1	1	5	4
2	4	3	3	5
1	3	1	5	5
4	3	2	5	4
1	1	1	5	5
4	5	4	4	5
5	3	4	5	5
3	3	3	4	5
2	2	2	4	4
3	2	1	3	4
4	3	5	5	3
3	3	2	4	3
5	3	4	4	5
4	2	3	5	4
3	5	5	5	5
5	5	5	5	5
2	4	3	5	5
4	3	3	4	4
2	2	2	4	2
4	5	5	5	5
4	4	4	5	4
4	3	1	4	3
5	4	4	4	4
3	4	5	5	4

GERAL - FACHADA 02 [Relação com o ambiente natural]	GERAL - FACHADA 03 [Relações de cheio e vazio]	GERAL - FACHADA 03 [Relação com a área edificada do entorno]	GERAL - FACHADA 03 [Relação com o ambiente natural]	GERAL - FACHADA 04 [Relações de cheio e vazio]
3	4	4	3	2
5	4	3	5	2
5	3	3	5	3
4	2	2	2	3
5	1	3	5	4
4	4	2	3	2
2	4	3	4	3
4	3	4	4	3
5	4	3	4	1
3	3	5	5	5
5	5	5	5	1
4	3	3	4	2
1	2	1	3	4
4	3	3	4	3
5	2	2	5	5
2	3	3	2	3
4	4	2	3	2
4	2	4	5	3
5	3	5	5	5
5	1	3	5	1
5	2	4	4	4
4	3	3	3	2
3	2	1	1	1
5	5	5	5	5
5	4	3	3	2
3	2	3	3	4
4	4	4	5	4
5	3	5	4	5

GERAL - FACHADA 04 [Relação com a área edificada do entorno]	GERAL - FACHADA 04 [Relação com o ambiente natural]	COMPONENTES [paredes]	COMPONENTES [portas]	COMPONENTES [janelas]
3	4	1	3	3
2	2	3	4	4
4	3	2	4	5
3	3	4	4	4
2	2	5	5	5
2	1	2	4	5
3	1	3	5	5
4	4	4	5	5
1	1	2	5	5
5	4	3	4	5
1	1	5	5	5
2	2	3	5	5
2	3	3	4	5
3	3	3	4	4
2	2	3	5	5
2	2	3	3	4
2	3	4	5	5
3	2	4	4	5
5	5	3	4	5
1	1	4	5	5
2	3	2	4	5
2	2	5	5	5
2	1	3	4	3
5	3	3	5	5
3	3	5	5	5
2	1	4	3	3
3	2	4	4	5
3	4	3	5	5

COMPONENTES [cobertura]	COMPONENTES [pilares]	COMPONENTES [vigas]	PAREDES [altura: alturas maiores de parede]	PAREDES [altura: altura menores de parede]
2	5	5	5	2
5	2	2	5	3
5	1	1	1	1
3	3	3	3	3
3	4	2	3	3
2	2	4	2	3
4	4	4	4	2
3	2	2	2	2
3	3	4	5	2
5	4	5	3	4
4	3	3	3	3
3	3	3	3	3
2	1	1	2	3
2	2	2	3	2
3	4	4	5	2
3	2	2	3	2
3	4	4	4	4
3	2	2	4	4
5	3	2	4	4
3	3	5	5	5
5	5	4	4	2
4	5	4	4	4
1	1	1	2	2
5	2	2	3	3
5	4	4	4	4
2	4	3	4	4
4	5	4	4	3
5	4	2	3	3

PAREDES [largura: larguras maiores de parede]	PAREDES [largura: larguras menores de parede]	PAREDES [espessura: espessuras maiores de parede]	PAREDES [espessura: espessuras menores de parede]	PAREDES [fachada: paredes que pertencem fachada 01]
4	2	3	3	5
4	3	3	3	4
3	3	1	1	5
3	3	3	3	4
3	3	2	2	4
4	2	5	2	1
4	2	3	1	1
2	2	2	2	3
4	1	3	3	1
5	3	5	4	4
4	4	4	3	3
3	3	3	3	4
2	2	2	4	3
2	2	2	2	3
5	2	2	4	5
3	2	1	2	3
4	4	4	4	3
3	3	1	1	5
4	4	3	3	5
3	3	2	2	5
3	2	2	2	3
5	4	4	4	4
2	2	1	1	2
5	5	2	2	5
3	3	2	2	2
4	4	2	2	4
4	4	3	3	5
4	3	3	3	4

PAREDES [fachada: paredes que pertencem fachada 02]	PAREDES [fachada: paredes que pertencem fachada 03]	PAREDES [fachada: paredes que pertencem fachada 04]	PAREDES [cor: a cor bege das paredes]	PAREDES [cor: a cor branca das paredes]
5	5	5	2	2
5	2	1	2	3
5	3	5	4	3
4	4	3	1	4
5	1	5	5	5
5	3	4	1	4
5	2	4	3	2
5	3	5	4	3
5	1	4	3	3
5	3	5	3	5
4	4	2	4	2
5	5	4	4	4
1	2	3	3	3
3	2	2	5	5
5	2	2	3	3
3	3	2	1	4
5	5	4	5	5
4	2	2	3	3
5	5	5	4	4
5	4	3	2	5
4	3	4	3	4
5	4	4	3	4
2	2	1	1	3
5	5	2	1	5
4	3	3	1	5
5	4	5	1	5
4	4	5	4	4
4	4	4	2	3

PILARES [altura: alturas maiores de pilar]	PILARES [altura: alturas menores de pilar]	PILARES [seção: seções maiores de pilares]	PILARES [seção: seções menores de pilares]	PILARES [fachada: pilares que pertencem fachada 01]
3	3	3	3	5
3	2	4	2	3
1	1	1	1	5
4	4	5	3	3
3	3	3	3	5
4	2	3	4	2
5	2	5	2	1
2	2	2	2	3
1	1	1	1	1
4	4	5	4	3
3	3	3	3	5
3	3	3	3	3
4	2	2	3	2
3	2	3	2	2
3	3	5	3	1
3	2	2	3	3
4	5	4	4	5
4	3	2	2	4
3	3	3	3	3
3	3	3	3	3
4	5	4	3	4
4	4	3	4	5
1	1	1	1	1
2	2	2	2	1
4	4	3	3	4
1	5	4	4	1
4	4	4	4	3
3	3	4	2	5

PILARES [fachada: pilares que pertencem fachada 02]	PILARES [fachada: pilares que pertencem fachada 03]	PILARES [fachada: pilares que pertencem fachada 04]	PILARES [cor: a cor branco dos pilares]	VIGAS [comprimento: comprimentos maiores das vigas]
5	5	5	2	5
4	1	1	3	4
5	3	5	2	1
3	3	4	4	4
5	1	5	4	3
5	4	3	3	3
5	3	4	2	3
5	3	5	3	2
5	1	1	1	4
5	3	5	4	5
5	3	3	3	3
3	3	3	3	3
4	2	3	1	3
3	3	2	2	4
1	1	1	3	4
3	3	2	3	3
4	3	3	4	4
4	1	1	3	2
3	3	3	3	2
3	3	3	5	5
5	4	5	5	4
5	4	4	5	4
1	1	1	1	1
5	1	1	5	5
4	4	4	3	3
4	1	4	4	3
4	3	4	4	5
5	5	5	4	4

VIGAS [formato: vigas em "C"]	VIGAS [formato: vigas retangular]	VIGAS [comprimento: comprimentos menores das vigas]	VIGAS [fachada: vigas que pertencem fachada 01]	VIGAS [fachada: vigas que pertencem fachada 02]
5	5	5	5	5
2	4	2	3	5
1	1	1	5	5
3	4	3	3	3
2	3	3	2	5
2	4	4	1	4
2	4	3	1	5
2	3	2	3	3
5	4	4	1	5
3	5	5	3	5
3	3	3	3	3
3	3	3	3	3
4	3	2	2	3
3	3	2	2	2
5	5	3	4	4
2	3	2	2	2
4	4	4	4	5
4	4	2	3	3
2	2	2	2	2
5	5	5	5	5
5	5	2	4	5
4	4	4	4	5
2	1	1	1	1
1	5	5	1	5
2	2	3	2	3
3	5	4	1	5
4	4	4	4	4
2	2	3	2	2

VIGAS [fachada: vigas que pertencem fachada 03]	VIGAS [fachada: vigas que pertencem fachada 04]	VIGAS [materialidade: o metal das vigas]	VIGAS [materialidade: a madeira das vigas]	VIGAS [cor: a cor marrom-escuro das vigas]
5	5	4	4	5
1	1	4	2	3
3	5	2	2	3
3	3	4	4	5
1	4	5	3	3
3	2	5	4	2
2	4	5	3	3
3	3	3	4	4
1	3	5	3	2
4	5	5	3	4
3	3	5	5	5
3	3	5	5	5
2	3	2	4	2
3	3	5	3	2
4	4	5	5	3
2	2	4	3	3
4	5	4	5	5
1	1	3	4	4
2	2	2	2	2
5	5	5	5	5
4	5	5	5	5
4	4	4	4	4
1	1	1	1	1
4	1	5	5	5
3	3	4	4	3
1	5	4	5	2
4	4	5	5	4
2	2	5	5	5

VIGAS [cor: a cor vermelho das vigas]	PORTAS [altura: alturas maiores das portas]	PORTAS [largura: larguras menores das portas]	PORTAS [largura: larguras maiores das portas]	PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 01]
5	5	2	5	4
5	5	2	5	5
3	4	3	4	2
5	4	4	4	4
5	3	4	4	5
4	4	2	2	4
5	5	3	5	2
5	4	2	2	4
5	5	5	5	1
5	5	3	5	4
5	3	3	3	5
5	5	4	5	3
3	4	3	4	2
3	3	4	4	5
3	5	3	5	5
4	3	1	4	3
5	5	4	4	4
4	4	3	4	5
2	5	5	5	5
5	5	5	5	5
5	5	3	5	3
4	4	4	3	4
2	3	1	3	1
5	5	5	5	5
4	3	3	4	2
4	5	5	5	5
5	4	4	5	4
5	3	3	3	4

PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 02]	PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 03]	PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 04]	PORTAS [materialidade: a madeira das portas]	PORTAS [materialidade: madeira e vidro das portas]
4	4	4	5	5
5	5	1	3	4
5	3	4	2	4
4	4	4	5	5
5	5	2	5	5
5	5	2	2	5
4	4	1	3	4
5	4	5	5	5
5	4	5	4	5
5	5	4	5	3
5	5	1	5	5
5	5	2	4	4
5	2	1	2	5
3	3	3	5	5
5	3	2	3	5
4	3	4	4	4
5	3	4	5	5
5	2	2	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	4	5
5	2	5	5	5
4	4	4	5	4
3	2	2	3	3
5	5	5	5	5
4	3	2	4	4
5	5	5	5	5
5	4	5	5	5
4	4	4	4	4

PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 02]	PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 03]	PORTAS [fachada: portas que pertencem fachada 04]	PORTAS [materialidade: a madeira das portas]	PORTAS [materialidade: madeira e vidro das portas]
4	4	4	5	5
5	5	1	3	4
5	3	4	2	4
4	4	4	5	5
5	5	2	5	5
5	5	2	2	5
4	4	1	3	4
5	4	5	5	5
5	4	5	4	5
5	5	4	5	3
5	5	1	5	5
5	5	2	4	4
5	2	1	2	5
3	3	3	5	5
5	3	2	3	5
4	3	4	4	4
5	3	4	5	5
5	2	2	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	4	5
5	2	5	5	5
4	4	4	5	4
3	2	2	3	3
5	5	5	5	5
4	3	2	4	4
5	5	5	5	5
5	4	5	5	5
4	4	4	4	4

PORTAS [materialidade: metal do portão]	PORTAS [cor: a cor marrom-escuro das portas de madeira]	PORTAS [cor: a cor vermelha do portão metálico]	JANELAS [largura: larguras maiores das janelas]	JANELAS [altura: alturas maiores das janelas]
5	3	5	5	5
5	3	5	5	5
5	2	5	4	2
5	5	5	4	4
5	2	5	5	5
5	1	4	3	4
5	2	5	5	5
3	4	4	3	3
5	3	5	5	5
5	5	5	5	4
5	5	5	5	5
4	4	5	3	3
3	3	4	5	5
2	5	5	5	5
4	3	4	5	5
2	3	4	2	2
4	5	5	5	4
2	4	4	3	4
5	5	5	5	5
4	5	5	5	5
5	4	5	5	5
5	5	5	5	5
1	3	1	3	3
5	1	5	5	5
4	4	4	3	3
3	1	5	5	5
4	4	5	4	4
4	4	5	5	5

JANELAS [altura: alturas menores das janelas]	JANELAS [posicionamento: peitoris menores das janelas]	JANELAS [posicionamento: peitoris maiores das janelas]	JANELAS [fachada: janelas que pertencem fachada 01]	JANELAS [fachada: janelas que pertencem fachada 02]
2	3	3	5	5
4	5	4	4	5
2	2	2	5	5
3	3	4	2	3
4	2	5	4	5
2	2	3	1	5
3	3	5	1	5
2	3	2	3	5
3	2	5	1	5
3	5	5	5	4
5	5	5	5	5
3	4	4	3	4
3	4	4	2	5
5	5	5	5	5
2	5	5	5	5
2	2	3	3	3
4	5	4	4	5
5	5	5	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	4	5
4	5	5	5	5
3	3	3	2	3
5	5	5	5	5
3	3	3	4	4
5	5	5	1	5
4	4	4	4	5
5	4	5	5	5

JANELAS [fachada: janelas que pertencem fachada 03]	JANELAS [fachada: janelas que pertencem fachada 04]	JANELAS [materialidade: metal e vidro das janelas]	JANELAS [materialidade: madeira das janelas]	JANELAS [materialidade: madeira e vidro das janelas]
5	5	5	5	5
2	1	5	4	4
3	5	5	2	2
3	4	5	5	5
1	2	5	2	5
2	2	4	3	4
2	3	4	2	2
3	5	4	5	5
1	4	5	5	5
4	5	5	5	4
5	1	3	3	3
4	4	4	4	4
2	4	5	3	5
5	5	5	5	5
5	5	5	2	5
3	2	3	3	4
4	3	4	5	5
3	2	3	5	5
5	5	5	5	5
5	5	5	5	5
4	5	5	5	4
5	4	4	4	5
2	1	3	2	2
2	5	5	1	1
4	2	4	4	4
1	5	5	5	5
4	5	4	5	4
5	5	5	5	5

JANELAS [cor: a cor verde-escura das janelas]	JANELAS [cor: a cor marrom-escura das janelas]	COBERTURA [tamanho: as dimensões dos planos/faces da cobertura (largura e comprimento)]	COBERTURA [beiral: tamanho das "bordas" da cobertura (beiral)]	COBERTURA [inclinação: a inclinação da cobertura]
2	4	2	2	3
5	5	5	5	4
5	5	4	4	3
5	5	4	4	5
2	5	2	4	4
5	4	2	4	3
4	2	5	3	5
4	4	3	3	4
5	3	3	3	4
3	5	5	4	5
5	5	1	1	1
5	4	3	4	4
4	3	4	3	3
5	5	3	3	3
2	4	4	4	4
3	2	3	3	3
5	5	4	5	5
3	3	3	4	2
5	5	5	5	5
5	5	5	5	5
5	4	5	5	5
5	5	5	5	5
3	3	2	1	3
1	5	1	1	4
4	4	5	5	5
5	1	5	5	3
4	5	4	4	4
5	5	3	4	4

COBERTURA [planos: a quantidade de planos/faces da cobertura (duas)]	COBERTURA [materialidade: metal e material de enchimento da cobertura]	COBERTURA [cor: a cor cinza da cobertura]
2	3	1
5	5	3
4	2	5
4	5	4
4	5	5
1	4	2
4	5	5
4	2	2
3	3	2
5	5	5
4	1	5
4	4	3
4	4	4
5	3	5
4	2	2
3	3	3
5	5	5
2	2	2
5	5	5
5	5	5
5	5	5
5	5	5
5	5	5
4	3	3
5	5	5
5	5	4
5	5	5
4	4	3
4	5	3