

Ferramenta metodológica P-Balance para avaliação integrada de desempenho de fachadas



MELISSA
MARINA FREITAS
CACCIATORI

TESE
DOUTORADO EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA

SÃO PAULO
2023

MELISSA MARINA FREITAS CACCIATORI

Ferramenta metodológica P-Balance para avaliação integrada de desempenho de fachadas

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP para obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro

Exemplar revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade da autora e anuência do orientador.

A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade.

São Paulo, 19 de Abril de 2024.

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Cacciatori, Melissa Marina Freitas
Ferramenta metodológica P-Balance para avaliação integrada
de desempenho de fachadas / Melissa Marina Freitas
Cacciatori; orientador Marcelo de Andrade Roméro. - São
Paulo, 2023.
261 p.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de São Paulo. Área de concentração:
Tecnologia da Arquitetura.

1. Avaliação de Desempenho (arquitetura). 2. Edifícios de
Escritórios. 3. Fachadas. 4. Visualização. 5. Otimização
Combinatória. 6. Tomada de Decisão. I. Roméro, Marcelo de
Andrade, orient. II. Título.

Folha de avaliação ou aprovação

Autora: Melissa Marina Freitas Cacciatori

Título: Ferramenta metodológica P-Balance para avaliação integrada de desempenho de fachadas

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP para obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro

Instituição: FAU - USP

Julgamento: Aprovada

Profa. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves

Instituição: FAU - USP

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Fúlvio Vittorino

Instituição: IPT - Externo

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Luciano Caruggi de Faria

Instituição: FEBASP - Externo

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Isac Roizenblatt

Instituição: ABILUX - Externo

Julgamento: Aprovada

Dedicatória

Para a autêntica e corajosa Domenica, filha amada, que me inspira a defender o novo e ousar conhecer o desconhecido. Para a sábia e paciente Domenica, avó querida (*in memoriam*), que me ensinou como unir força e gentileza.

Agradecimentos

Agradecer é um exercício consciente de humildade. O reconhecimento de que existem forças maiores, e outras pessoas, que permitem e colaboram com nossas realizações. É a demonstração do entendimento de que não somos sozinhos e, sozinhos, não somos.

Melissa Cacciatori (2023)

Nossas vidas e nosso trabalho não seriam o que são, sem a participação de outras pessoas, de forma direta ou não. Um(a)s nos dão informações, nos orientam ou direcionam enquanto outras trabalham conosco em um projeto, ou em uma parte da pesquisa; outras, seguem o caminho lado a lado, sem nunca nem entender o que fazemos. Mas quer saber? Como estas últimas são fundamentais! São aquelas pessoas que nos permitem continuar sendo também uma “pessoa”. É tão fácil se perder em meio a tantos estudos, tanta pesquisa, tantos conceitos sobre tantas coisas específicas, num nível que nos distancia da realidade comum. Estas pessoas nos ancoram na vida, na terra. Nos fazem lembrar que precisamos comer, amar, brincar, brigar. Que a vida é prática. Nos fazem lembrar que nosso estudo deve servir a esta realidade comum, pois é nela que a vida acontece.

Por isso, agradeço a **Deus**. Agradeço por me desafiar, para que eu tivesse a oportunidade de me desenvolver. Por me abençoar colocando em meu caminho pessoas maravilhosas, que me apoiaram, me sustentaram, de tantas formas. Agradeço por iluminar o caminho e por não permitir que eu desistisse.

Ao meu querido e amado **Denis Saad**, agradeço por sempre, sempre, sempre me apoiar, nas minhas certezas e nas minhas dúvidas. Por se manter firme, inabalável, mesmo nas situações mais difíceis de nossas vidas, que aconteceram justamente durante o desenvolvimento desta tese. Por sempre repetir, no final de cada longa conversa quando estávamos procurando saídas, as palavras que me permitiam seguir: “nós vamos dar um jeito”. Seria imensamente mais difícil sem o seu apoio, sua compreensão, amizade, companheirismo e proteção. Em você, sei que posso confiar, sempre.

Minha linda **Domenica Cacciatori Saad**: obrigada querida. Com você eu pratico todos os dias a difícil arte de me colocar no lugar do outro, que exige que a gente olhe por outros ângulos, que busque compreender a dificuldade do outro em entender o que dizemos. Essa prática vai lapidando e polindo, dia a dia, meu posicionamento não só como mãe, mas como uma profissional, como uma pesquisadora, que sempre se ocupa em buscar entender o que o outro realmente precisa para ser e se sentir melhor, e em como o que eu tenho a oferecer irá contribuir com estas necessidades. Sim, eu desempenho melhor o meu trabalho por ser sua mãe.

Esta tese condensa o conhecimento acumulado em minha jornada profissional, acadêmica e pessoal, até este ponto. Este conhecimento foi se formando pouco a pouco, em um processo orgânico, dinâmico, vivo, ora estruturado, ora caótico. Desde que cursei a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, uma veia crítica insaciável predominou em minha atuação, sempre questionando, querendo entender por que fazemos o que fazemos, do jeito que fazemos; o que querem as pessoas que habitam os espaços que planejamos? O que é afinal a arquitetura? Qual é o seu valor, percebido e real? Eu continuo me perguntando tudo isso, o tempo todo.

Para buscar respostas, empreendi em pesquisar, investigar, testar. Nunca me contento com o que está pronto. Agradeço à algumas das pessoas incríveis – vou citar algumas a seguir - que me ajudaram e me permitiram continuar questionando, em um mundo que anda cheio de certezas. Estas pessoas também me ancoraram na realidade prática, me fazendo aceitar algumas respostas, mesmo que temporárias. Afinal, tem momentos que em que precisamos parar de perguntar e tentar usar a resposta que encontramos.

Agradeço ao **Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro** do ano de 2000, quando ele escrevia alguns artigos para a revista Climatização. Naquela época eu estava fazendo meu trabalho final de graduação e seus artigos foram muito importantes para eu entender um pouco mais sobre o tema de eficiência energética no contexto do projeto de arquitetura.

Agradeço à **Prof. Dra. Joana Carla Gonçalves** do ano de 2000, que recebeu uma aluna da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UNESP, que num dia qualquer de setembro bateu às portas dos Departamentos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. A aluna – eu - em busca de informações sobre edifícios inteligentes, foi então recebida no Departamento de Tecnologia da Arquitetura por uma jovem e generosa professora, que deu uma aula de mais de uma hora àquela estudante de graduação. Naquela conversa recebi o esclarecimento mais fundamental naquele momento, que eu condensei da seguinte forma: um edifício deve, primeiramente, ter uma arquitetura inteligente, baseada no atendimento das demandas de conforto ambiental, as quais devem ser preponderantes em projetos que almejam atender objetivos de eficiência energética e sustentabilidade.

Agradeço ao **Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro** do ano de 2006, que respondeu meu e-mail de pedido de informações sobre o Mestrado da FAU-USP. Ele me recebeu em sua sala de diretor no Departamento de Tecnologia da Arquitetura, ouviu atentamente minha história e minhas expectativas, se disponibilizou a me orientar, me emprestou alguns trabalhos para levar comigo e estudar, e recomendou que eu fizesse o CECACE – Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edifícios da FUPAM, o que eu fiz.

Agradeço ao **Prof. Dr. Fulvio Vittorino** pela sua orientação no Mestrado Profissional do IPT, que concluí em 2016, pelo incentivo em dar continuidade à pesquisa com o nível de Doutorado, por ter sido o primeiro a reconhecer a importância das minhas preocupações com gráficos e visualização de dados, me dando as primeiras orientações objetivas sobre esta área do conhecimento que tanto explorei e apliquei no desenvolvimento desta tese.

Agradeço à **Prof. Dra. Sheila Walbe Ornstein**, que durante o curso da disciplina de Avaliação Pós-Ocupação (APO), a qual cursei no programa de doutorado da FAU-USP, analisou meu projeto de pesquisa, me deu valiosas orientações sobre comportamento do usuário, mas principalmente, identificou que o comportamento que estava mais relacionado ao meu trabalho era o de decisão em projetos e me direcionou para a Faculdade de Economia e Administração FEA-USP.

Agradeço ao **Prof. Dr. José Afonso Mazzon**, por apresentar com maestria o universo das pesquisas de comportamento do consumidor em sua disciplina no Programa e Pós-Graduação em Administração – Área de Marketing da FEA-USP. Este conhecimento foi fundamental para a condução das minhas pesquisas, além de me transformar como profissional e pesquisadora.

Agradeço às empresas Somfy e Uniflex, nas pessoas de **Antonio Oliveira** e **Luiz Gaspar**, pelo apoio e incentivo às pesquisas com persianas automatizadas, fundamentais para o processo de análise crítica do edifício referencial estudado; do conceito de fachada e do seu papel no desempenho de edifícios de escritórios; do processo de modelagem para simulação computacional e das influências de metodologias de avaliação adotadas pelo mercado na valorização de estratégias de proteção solar para fachadas de edifícios de escritórios.

Agradeço à empresa CTE, por abrir as portas da empresa para a experimentação prática de protótipos da ferramenta e dos métodos de abordagem propostos na minha pesquisa, em diversos projetos reais, de março de 2020 até junho 2022. Agradeço à toda equipe de Sustentabilidade do CTE, especialmente à equipe de Conforto e Eficiência Energética: além de muitas trocas de conhecimento, foi uma experiência que permitiu consolidar um aspecto essencial desta tese, de que o método deve estar contemplado na ferramenta, para que os processos sejam mais eficientes no atendimento de objetivos técnicos, e requisitos de mercado quanto à velocidade, objetividade e custos do serviço de avaliação de desempenho de edifícios.

Agradeço ao **Eng. Msc. Javier Díaz Valdivia** pela parceria nos estudos, pesquisas e consultorias com Simulação em Energyplus, e pelas tantas discussões técnicas que tanto agregaram ao desenvolvimento desta tese.

Agradeço ao **Arq. Eric Matos Marta**, pela parceria, pelo treinamento em Climate Studio e apoio nas Simulações de Iluminação Natural, pelo compartilhamento das vivências em nossa área de atuação.

Agradeço ao **Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro** de 2023, que me “pegou pela mão”, como ele mesmo disse; que me resgatou em um momento no qual eu tinha parado de acreditar e me incentivou a concluir a tese.

Em 2024, agradeço aos membros da banca: **Prof. Dr. Issac Roizenblatt**, **Prof. Dr. Luciano Caruggi de Faria**, **Prof. Dr. Fúlvio Vittorino**, **Prof. Dra. Joana Carla Gonçalves** e **Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro**, pelas análises cuidadosas e valiosas contribuições.

Resumo

CACCIATORI, M. M. F. **Ferramenta metodológica P-Balance para avaliação integrada de desempenho de fachadas**. 2023. Tese (Doutorado) – Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2023.

Consultores especializados em Desempenho, Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Fachadas de edifícios de escritórios de alto padrão, na cidade de São Paulo, se deparam com dois desafios prementes: o de responder às demandas de consultoria em prazos exíguos e o de comunicar os resultados de uma avaliação integrada aos contratantes, não especialistas, de maneira rápida e objetiva. A complexidade das análises torna essa comunicação ainda mais crítica, uma vez que existe o risco de que as recomendações decorrentes não sejam absorvidas pelo projeto, prejudicando o alcance dos objetivos. Apesar das avançadas tecnologias na área de Projeto Orientado ao Desempenho, que envolvem simulações computacionais, algoritmos de otimização por inteligência artificial, arquitetura paramétrica e design generativo, bem como os processos de projeto integrado viabilizados por ferramentas BIM, o mercado de edifícios corporativos ainda não assimilou plenamente essas ferramentas e abordagens complexas e isso não deverá ocorrer em um curto espaço de tempo. Na prática atual, os projetos seguem uma abordagem convencional, com consultorias de otimização de fachadas frequentemente contratadas em estágios avançados do projeto e de forma não integrada. As ferramentas e métodos para consultorias de otimização ainda estão em desenvolvimento e não foram incorporados ao processo de projeto. Os contratantes, por sua vez, não possuem conhecimentos específicos para compreender plenamente os resultados de avaliações integradas de conforto ambiental e eficiência energética, o que coloca sobre os consultores a responsabilidade de traduzir esses resultados de maneira eficaz para a aplicação prática no projeto. No contexto consultivo, conquistar a atenção dos contratantes nos primeiros minutos da apresentação dos resultados é crucial. Para superar esses desafios, são necessários instrumentos – tanto métodos quanto ferramentas de análise – que agilizem a avaliação, assegurem a qualidade dos resultados técnicos e facilitem a aplicação prática. Esses instrumentos devem elevar a maturidade técnica de toda a equipe de projeto, permitindo a análise simultânea de indicadores de desempenho de fachadas, a identificação de soluções equilibradas e a comunicação eficaz dos resultados aos *stakeholders*. Fundamentada na simulação computacional de desempenho, em conceitos de projeto integrado, otimização multiobjetivo e técnicas de visualização de dados, esta tese desenvolveu, aplicou e aferiu a ferramenta-metodológica de avaliação integrada denominada “P – Balance”. A ferramenta demonstrou ser útil para processos de consultoria especializada, proporcionando um panorama completo e acessível sobre o desempenho das fachadas.

Palavras-chave: Projeto Integrado de Fachadas. Edifícios de Escritórios. Simulação Computacional de Desempenho. Visualização de Dados. Tomada de Decisão em Projeto. Otimização Multiobjetivo.

Abstract

CACCIATORI, M. M. F. **Methodological Tool P-Balance for Integrated Façade Performance Assessment**. 2023. Tese (Doutorado) – Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2023.

Building performance specialized consultants in Environmental Comfort and Energy Efficiency of high-end office building facades, in the city of São Paulo, face two pressing challenges: responding to consultancy demands within tight deadlines and communicating the results of an integrated assessment to non-specialist clients quickly and effectively. The complexity of the analyses makes this communication even more critical, as there is a risk that the resulting recommendations may not be adopted by the project, jeopardizing the achievement of its objectives. Despite advanced technologies in the field of Performance-Oriented Design, involving computer simulations, artificial intelligence optimization algorithms, parametric architecture, and generative design, as well as integrated design processes facilitated by BIM tools, the corporate building market has not fully embraced these complex tools and approaches, and this is unlikely to happen soon. In current practice, projects follow a conventional approach, with facade optimization consultancies often hired at advanced stages of the project and in a non-integrated approach. The tools and methods for optimization consultancy are still under development and have not been incorporated into the design process. Clients, on the other hand, lack specific knowledge to fully understand the results of integrated assessments of environmental comfort and energy efficiency, placing the responsibility on consultants to translate these results effectively for practical application in the design. In the consultancy context, capturing the attention of clients in the first few minutes of presenting the results is crucial. To overcome these challenges, instruments - both methods and analysis tools - are needed to expedite evaluation, ensure the quality of technical results, and facilitate practical application. These instruments should elevate the technical maturity of the entire project team, enabling the simultaneous analysis of facade performance indicators, the identification of balanced solutions, and effective communication of results to stakeholders. Based on computer performance simulation, integrated design concepts, multi-objective optimization, and data visualization techniques, this thesis has developed, applied, and verified the methodological tool for integrated assessment called "P - Balance." The tool has proven to be useful for specialized consultancy processes, providing a comprehensive and accessible overview of facade performance.

Keywords: Integrated Facade Design. Office Buildings. Building Performance Simulation. Data Visualization. Design Decision Making. Multi-Objective Optimization.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Planta esquemática Ilustrativa - Pavimento Tipo Referencial: Planta quadrada, com núcleo central não climatizado (dir.) e Configurações de desenho de fachada - Saída gráfica do EnergyPlus visualizada em Sketchup (esq.).....	39
Figura 2 – Mapas espaciais de um ambiente, para comparação entre simulações de autonomia de iluminação natural (UDI-a, A e D; ASE1000/250lux, Be E) e autonomia térmica (C e F) para duas localidades: Helena, MT e Phoenix, AZ.....	44
Figura 3 – Representação visual do desempenho combinado de autonomia térmica e de iluminação natural, em 9 cores.....	44
Figura 4 – Análise simultânea de autonomia térmica e luminosa: mapa de autonomia horária a resumo anual; A e B: Fachada sul – Helena; C e D: core, Helena; E e F: Fachada sul – Phoenix; G e H: core, Phoenix.....	45
Figura 5 - Comparação entre técnicas de visualização de dados para conjuntos de dados de Simulação de Desempenho de Edifícios, com base no atendimento de 8 requisitos.	47
Figura 6 – Octopus: Plugin de otimização do Rhinoceros.....	48
Figura 7 – Wallacei: Plugin de otimização do Rhinoceros	48
Figura 8 - Estrutura da Venis: uma ferramenta de suporte ao desenho de edifícios orientado ao desempenho centrada no designer	49
Figura 9 – Fluxo Esquemático da Percepção e Processamento de informações visuais	52
Figura 10 – Distribuição de artigos, instituições e periódicos, adicionados por ano.....	59
Figura 11 – Fluxograma com Etapas do Método.....	62
Figura 12 – Legenda do Fluxograma com Etapas do Método	63
Figura 13 - Etapa 1 do Fluxograma do Método: Definição do Objeto de Estudo	64
Figura 14 – Edifício Referencial de Escritórios: Planta com indicação de medidas (14-A), planta com indicação de zoneamento para simulação (14-B), Perspectiva do modelo – saída do Sketchup (14-C), Corte esquemático da fachada - pavimento tipo (14-D)	66
Figura 15 – Calculadora Térmica CBE – SolarCal: 15A. Sem correção da MRT; 15B. Transmissão Solar Total = 0,5; 15C. Transmissão Solar Total = 0,05	73
Figura 16 – Padrões dos tecidos das persianas adotadas.....	77

Figura 17 – Cortes Esquemáticos: WWR 40%, com Brise Superior (17-A), WWR 40%, com Brise Total (17-B), WWR 65%, com Brise Superior (17-C), WWR 65%, com Brise Total (17-D).....	79
Figura 18 – Zona de eficiência de iluminação natural para aberturas laterais.....	80
Figura 19 – Dimerização de Zonas Periféricas – Planta e Corte Esquemáticos.....	81
Figura 20 - Etapa 2 do Fluxograma do Método: Simulação	82
Figura 21 – Escala cromática de classificação dos critérios de indicadores de desempenho ...	90
Figura 22 – As 6 Variáveis consideradas no cálculo do PMV.....	92
Figura 23 – []	92
Figura 24 – Saída típica de resultados para avaliações térmica e lumínica.....	93
Figura 25 – Ilustração Radiação solar direta sobre o ocupante e radiação das superfícies, que resultam na Temperatura radiante da fachada (esq) e Ilustração do efeito de um elemento de proteção solar direta, que elimina o efeito da radiação solar direta e atenua a radiação das superfícies (dir).....	95
Figura 26 – Ilustração sDA - Autonomia de Iluminação Natural do Espaço	99
Figura 27 – Ilustração ASE - Exposição Solar Anual.....	100
Figura 28 – Ilustração UDI - Iluminância útil diurna	102
Figura 29 – Detalhes da modelagem do Brise para Modelo WWR 40% (W40) - Brise Total (BT) – Saídas de visualização do Modelo Termo-energético, SketchUp (acima) e Iluminação Natural, Rhino (abaixo).....	110
Figura 30 - Etapa 3 do Fluxograma do Método: Sistematização de Dados.....	111
Figura 31 – Tela de Exibição do Modelo – Power BI Desktop	112
Figura 32 – Bancos de Dados – Power BI Desktop.....	113
Figura 33 – Relacionamentos entre Bancos de Dados.....	113
Figura 34 - Etapa 4 do Fluxograma do Método: Elaboração da Ferramenta de Visualização .	114
Figura 35 – Gráfico Versão V0: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, e eficiência energética	116

Figura 36 - Gráfico Versão V0: Análise simultânea de indicadores de desempenho lumínico	117
Figura 37 – Visualização Versão V0, para avaliação simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico e eficiência energética	118
Figura 38 – Visualização Versão V1: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico, eficiência energética e nível de investimento inicial.	121
Figura 39 - Visualização Versão V2: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico e eficiência energética	124
Figura 40 – Tela do software Power BI, com Relatório para Avaliação Integrada, com gráfico de coordenadas paralelas xViz.....	126
Figura 41 - Relatório para Avaliação Integrada, com detalhe do gráfico de coordenadas paralelas xViz.....	127
Figura 42 – Ilustração da Ferramenta P-Balance – Tela Inicial	129
Figura 43 -Fluxograma e Estrutura da Ferramenta P-Balance.....	130
Figura 44 – Painel de Avaliação Integrada do Edifício: Tela adotada como base para apresentação das configurações gerais	131
Figura 45 – Layout e Componentes dos Painéis de Análise.....	132
Figura 46 – Destaque de componentes do Painel. Ampliação 1 de 3 da Figura 42.....	133
Figura 47 - Destaque de componentes do Painel. Ampliação 2 de 3 da Figura 42.....	134
Figura 48 - Destaque de componentes do Painel. Ampliação 3 de 3 da Figura 42.....	135
Figura 49 – Gráficos com dados de Vidros e Persianas	136
Figura 50 – Caixas de Segmentação de Dados	137
Figura 51 – Barra de Indicadores Estatísticos e Variações de Indicadores por tipo de seleção	139
Figura 52 – Mapa de Indicadores Classificados: Componente da Visualização P-Balance – Painel de Avaliação Integrada do Edifício.....	140
Figura 53 - Mapa de Indicadores, com classificação por gradiente de cor: Componente do Painel de Análise de Cargas térmicas	141

Figura 54 - Tabelas de Valores sem classificações cromáticas: Componente do Painel de Análise Vidros e Persianas	142
Figura 55 – Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, cor única: representação de partes do todo.....	143
Figura 56 - Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, com cores diferentes para cada série de dados, para formatar conjuntos de análise comparativa	144
Figura 57 - Gráficos de Linhas empilhadas: Pontos.....	144
Figura 58 - Gráficos de Barras, combinados com linhas	145
Figura 59 - Gráfico de coordenadas paralelas.....	146
Figura 60 – Processo de formatação do gráfico P-Balance: Barras de Critérios	147
Figura 61 – Gráfico P-Balance	148
Figura 62 – Gráfico P-Balance Vs. Gráfico de Coordenadas Paralelas xViz – Power BI	149
Figura 63 – Apresentação da Ferramenta P-Balance: Tela Inicial	151
Figura 64 - Painel Informativo: Tela Inicial	151
Figura 65 – Ampliação Painel Informativo: Tela Inicial – Parte 1 de 2	152
Figura 66 – Ampliação Painel Informativo: Tela Inicial – Parte 2 de 2	153
Figura 67 - Painel de Análise do Clima	155
Figura 68 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 1 de 3	156
Figura 69 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 2 de 3	157
Figura 70 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 3 de 3	158
Figura 71 - Painel de Análise da Arquitetura.....	160
Figura 72 - Ampliação Painel de Análise da Arquitetura – Parte 1 de 2.....	161
Figura 73 - Ampliação Painel de Análise da Arquitetura – Parte 2 de 2.....	162
Figura 74 - Painel Informativo Análise da Arquitetura	163
Figura 75 - Painel de Avaliação Integrada do Edifício	165

Figura 76 – Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 1 de 3	166
Figura 77 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 2 de 3.....	167
Figura 78 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 3 de 3.....	168
Figura 79 - Painel Informativo de Avaliação Integrada do Edifício	169
Figura 80 - Painel de Análise de Avaliação Integrada por Ambiente.....	171
Figura 81 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 1 de 3.....	172
Figura 82 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 2 de 3.....	173
Figura 83 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 3 de 3.....	174
Figura 84 - Painel Informativo de Avaliação Integrada por Ambientes	175
Figura 85 - Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas.....	177
Figura 86 – Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 1 de 3	178
Figura 87 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 2 de 3.	179
Figura 88 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 3 de 3.	180
Figura 89 - Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício	182
Figura 90 – Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 1 de 3.....	183
Figura 91 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 2 de 3.....	184
Figura 92 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 3 de 3.....	185
Figura 93 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício	187
Figura 94 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 1 de 3	188
Figura 95 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 2 de 3	189
Figura 96 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 3 de 3	190

Figura 97 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício	192
Figura 98 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 1 de 3	193
Figura 99 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 2 de 3	194
Figura 100 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 3 de 3	195
Figura 101 – Painel Informativo de Iluminação Natural: Mapas.....	196
Figura 102 – Painel Informativo de Iluminação Natural: Detalhe Bloco de Mapas agrupados por WWR	197
Figura 103 - Painel Informativo de Iluminação Natural: Detalhe Bloco de Mapas agrupados por Modelo	197
Figura 104 – Metodologia de Avaliação Integrada P-Balance: Fluxograma de Processos	198
Figura 105 – Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada do Edifício – Vista Total do Painel	200
Figura 106 - Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance	201
Figura 107 - Análise Inicial Exploratória – Análise Complementar de Consumo do Edifício ...	203
Figura 108 – Gráfico Complementar - Painel de Análise de Vidros e Persianas.....	204
Figura 109 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Ranking maior que “zero”	206
Figura 110 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 colunas UDI_a e UDI_e	207
Figura 111 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Aplicação das Premissas de Projeto	209
Figura 112 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Aplicação das Premissas de Projeto + Filtro Classe 1 colunas ASE e ASE blinds	210

Figura 113 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Modelos com melhor balanço entre indicadores	211
Figura 114 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Modelos com melhor balanço entre indicadores	211
Figura 115 – Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada por Ambiente – Seleção Inicial de Orientação, Posição e Pavimento	212
Figura 116 – Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada por Ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance	213
Figura 117 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Ranking maior que “zero” – Fachada Sul	214
Figura 118 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Sul	216
Figura 119 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Leste	217
Figura 120 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Norte.....	218
Figura 121 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Oeste	219
Figura 122 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por Ambiente – Resumo dos Modelos com melhor balanço entre indicadores. Resultado para cada orientação, modelo com maior nota de Ranking.....	220
Figura 123 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Aplicação de Premissas de Projeto – Fachada Leste	221
Figura 124 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Aplicação de Premissas de Projeto – Fachadas Leste, Norte, Oeste e Sul – Aplicação de Filtros de Classe de 1 a 4.....	222
Figura 125 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Definição de Modelo – Fachadas Leste, Norte, Oeste e Sul	223

Lista de Quadros

Quadro 1 - Variáveis, Identificadores (ID), Parâmetros e Critérios dos Modelos Estudados	40
Quadro 2 – Sistema de Classificação de Viabilidade Econômica (VE) de modelos de fachadas	41
Quadro 3 – Classificação geral de viabilidade econômica de todos os modelos, ordenados por tipologia de fachada.....	42
Quadro 4 – Classificação geral de viabilidade econômica de todos os modelos, ordenados pelo percentual de redução de consumo anual de energia elétrica, do maior percentual para o menor	42
Quadro 5 - Composições de fachadas, ordenadas pelo nível de redução percentual de consumo anual de energia elétrica de cada modelo	42
Quadro 9 – Resumo das Características dos tipos de Memória participantes do processo de	54
Quadro 10 - Atributos de Processamento Pré-atentivo.....	55
Quadro 11 – Resumo: Aspectos e Regras de Visualização de Dados.....	56
Quadro 12 – Princípios de Percepção Visual da Gestalt	58
Quadro 13 – Sistematização de Dados de entrada - Estrutura do Banco de Dados	84
Quadro 14 – Parâmetros Variáveis e códigos de identificação (ID)	85
Quadro 15 – Exemplo de Nomenclatura de Modelos com base em códigos ID de Variáveis Paramétricas	86
Quadro 16 - Exemplo de Nomenclatura de Ambientes com base em códigos ID de Variáveis de Localização e Orientação	86
Quadro 17 – Variáveis de Localização e Orientação de ambientes – Zonas Térmicas.....	86
Quadro 18 - Indicadores e Critérios de Eficiência Energética para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício	90
Quadro 19 - Indicadores e Critérios de Eficiência Energética para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação de Ambientes, por orientação	91
Quadro 20 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Térmico para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício	97

Quadro 21 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Térmico para avaliação integrada de desempenho de fachadas - Avaliação de Ambientes, por orientação	98
Quadro 22 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Lumínico para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício e Avaliação de Ambientes, por orientação	103
Quadro 23 – Métricas e Indicadores para avaliação integrada de Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico de fachadas – Avaliação Global do Edifício	104
Quadro 24 - Métricas e Indicadores para avaliação integrada de Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico de fachadas – Avaliação de Ambientes	105
Quadro 25 – Etapas de revisão e atualização do Modelo para Simulação Termo-energética	108
Quadro 26 - Etapas de elaboração do Modelo para Simulação de Iluminação Natural	109
Quadro 27 – Quadro Resumo: Tela Inicial	150
Quadro 28 – Quadro Resumo: Painel de Análise do Clima	154
Quadro 29 – Quadro Resumo: Painel de Análise da Arquitetura	159
Quadro 30 – Quadro Resumo: Painel de Avaliação Integrada do Edifício	164
Quadro 31 – Quadro Resumo: Painel de Análise de Avaliação Integrada por Ambiente	170
Quadro 32 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas	176
Quadro 33 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício	181
Quadro 34 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício	186
Quadro 35 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício	191

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
AQUA - HQE	<i>Assessment in Quality Environmental Approach</i> - Avaliação na Abordagem de Qualidade Ambiental; HQE: <i>Haute Qualité Environnementale</i> - Alta Qualidade Ambiental
ASE	<i>Annual Sunlight Exposure</i> - Exposição Solar Anual (%)
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> - Associação Americana de Engenheiros de Ar-condicionado, Aquecimento e Refrigeração
BIM	<i>Building Information Modeling</i> – Modelagem da Informação da Construção
BPS	<i>Building Performance Simulation</i> - Simulação de Desempenho de Edifícios
CBE	<i>Center for the Built Environment</i>
DA	Densidade de Carga Interna (ILD) Alta (60 W/m ²)
DB	Densidade de Carga Interna (ILD) Baixa (37 W/m ²)
DPI	Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)
DPJ	Densidade de Potência de Janela (W/m ²)
EMS	<i>Energy Management System</i> - Sistema de Gerenciamento de Energia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Fitwell	Sistema de Certificação de Saúde em Edificações
ID	Identificação
IES	<i>Illuminating Engineering Society</i> - Associação de Engenharia de Iluminação
ILD	Densidade de carga interna instalada [W/m ²]
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Ambiental
IWBL	<i>International WELL Building Institute</i> - Instituto Internacional de bem-estar em edifícios

JLL	Jones Lang LaSalle - Empresa de Consultoria Imobiliária
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design (USGBC)</i>
MRT	<i>Mean Radiant Temperature</i> - Temperatura Média Radiante
NFRC	<i>National Fenestration Rating Council</i> - Conselho Nacional de Classificação de Janelas (EUA)
NSGA-II	<i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II</i>
P-Balance	<i>Performance Balance</i> (Equilíbrio de Desempenho) Ferramenta metodológica para apoio à avaliação de desempenho de fachadas e edifícios
PBE EDIFICA	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações do INMETRO
PC	Processo de projeto convencional
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> - Voto Predito Médio
POD	Projeto de arquitetura orientado ao desempenho
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> - Percentual de Pessoas Insatisfeitas
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
sDA	<i>Spatial Daylight Autonomy</i> - Autonomia de Iluminação Natural do Espaço (%)
SHGC	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i> [%] - Coeficiente de ganho de calor solar
TR	Toneladas de Refrigeração (1 TR = 3.517 W)
TVD	Técnicas de visualização de dados
UDI	<i>Useful daylight illuminance</i> - Iluminância diurna útil (%)
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
WELL	Certificação de bem-estar de edifícios concedida pelo IWBL
WFR	<i>Window-to-Floor Ratio</i> (%) - Relação entre Área de Janela e Área de Piso
WWR	<i>Window-to-Wall Ratio</i> [%] - Relação entre Área de Janela e Área de Fachada
XGBoost	<i>Extreme Gradient Boosting</i>

Lista de Símbolos

Fator U ou U:	Transmitância Térmica [W/m ² .k] [W/m ² .°C]
FS:	Fator Solar [%]
Tvis:	Transmissão visível - ou luminosa [%]
Tsol:	Transmitância solar [%]
Rsol	Reflexão solar [%]
Rvis	Reflexão visível [%]

Sumário

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Objetivos	31
1.2	Justificativa	32
1.3	Hipótese	34
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Arquitetura orientada ao desempenho	35
2.2	Avaliação de Desempenho de Fachadas	37
2.3	Técnicas e Visualização de Dados e o Desenho da Informação.....	46
3	MÉTODOS E TÉCNICAS.....	62
3.1	Etapa 1: Definição do Objeto de Estudo	64
3.1.1	<i>Arquitetura.....</i>	65
3.1.2	<i>Vidros.....</i>	68
3.1.3	<i>Persianas.....</i>	71
3.1.4	<i>WWR e Brises.....</i>	78
3.1.5	<i>Sistema de Iluminação</i>	80
3.2	Etapa 2: Simulação.....	82
3.2.1	<i>Coleta e Sistematização de Dados de Entrada.....</i>	83
3.2.2	<i>Definição de métricas e critérios.....</i>	87
3.2.3	<i>Modelagem, Simulação e Coleta de Dados de Saída</i>	108
3.3	Etapa 3: Sistematização de Dados	111
3.4	Etapa 4: Elaboração da Ferramenta de Visualização	114
4	P-BALANCE: FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO INTEGRADA.....	129
4.1	Configurações Gerais	131
4.1.1	<i>Layout de painéis</i>	131
4.1.2	<i>Componentes de análise e Técnicas de visualização aplicadas.....</i>	136
4.1.3	<i>Tipos de Gráficos.....</i>	142
4.2	Tela Inicial.....	150
4.3	Painel de Análise do Clima	154
4.4	Painel de Análise da Arquitetura	159
4.5	Painel de Avaliação Integrada do Edifício.....	164
4.6	Painel de Avaliação Integrada por Ambiente	170
4.7	Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas.....	176
4.8	Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício.....	181
4.9	Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício	186
4.10	Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício.....	191

5	MÉTODO DE AVALIAÇÃO: APLICAÇÃO E AFERIÇÃO DA FERRAMENTA.....	198
5.1	Avaliação Integrada do Edifício.....	199
5.1.1	<i>Análise Inicial Exploratória</i>	<i>199</i>
5.1.2	<i>Rota de Seleção: Maior Desempenho.....</i>	<i>204</i>
5.1.3	<i>Rota de Seleção: Por Parâmetro.....</i>	<i>208</i>
5.2	Avaliação Integrada por Ambiente	212
5.2.1	<i>Análise Inicial Exploratória</i>	<i>212</i>
5.2.2	<i>Rota de Seleção: Maior Desempenho.....</i>	<i>214</i>
5.2.3	<i>Rota de Seleção: Por Parâmetro.....</i>	<i>220</i>
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	225
6.1	Comprovação da Tese.....	226
6.1.1	<i>Projeto Integrado, otimização multiobjetivo e tomada de decisão</i>	<i>226</i>
6.1.2	<i>Técnicas de Visualização de Dados.....</i>	<i>227</i>
6.2	Limites da Pesquisa.....	229
6.3	Continuidade da Pesquisa	230
	BIBLIOGRAFIA GERAL.....	232
	APÊNDICES	248
	APÊNDICE I – Referência de algoritmo de controle de persianas.....	249
	APÊNDICE II – Modelagem de vidros para simulação termo-energética	252
	ANEXOS	253
	ANEXO A – Controle de persianas disponíveis no software EnergyPlus.....	254
	ANEXO B – Cálculo do parâmetro do setpoint de acionamento das persianas utilizando o controle OnIfHighSolarOnWindow	256
	ANEXO C – Detalhe de protetor solar externo Celoscreen – Hunter Douglas.....	258
	ANEXO D – Breve descrição de sistemas de certificação de edifícios	259

1 INTRODUÇÃO

Humanos sempre foram muito melhores em inventar ferramentas do que em usá-las sabiamente. É mais fácil manipular um rio construindo uma represa, do que prever todas as complexas consequências que isso trará para o sistema ecológico mais amplo.

Yuval Noah Harari (2018)

A Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é reconhecida pela sua resistência em absorver novas tecnologias (SHAFEI, RADZI, *et al.*, 2022), (MAUREIRA, PINTO, *et al.*, 2021). Apesar das avançadas tecnologias na área de Projeto Orientado ao Desempenho, que envolvem simulações computacionais e métodos de tomada de decisão multicritério (KOKARAKI, HOPFE, *et al.*, 2019), algoritmos de otimização por inteligência artificial e aprendizagem de máquinas, (BRACHT, MELO e LAMBERTS, 2021), (HOSAMO, TINGSTVEIT, *et al.*, 2022), (SINGH, DEB e GEYER, 2022), *Design Paramétrico*¹ e o *Design Generativo*² (CICHOCKA, BROWNE e RODRIGUEZ, 2017), (YAN, YAN e JI, 2022), bem como os processos de projeto integrado viabilizados por ferramentas BIM³, ainda é limitado o entendimento do estado-da-arte em pesquisas nesta área (CHANG e HSIEH, 2020). Do mesmo modo, o mercado de edifícios corporativos não deverá assimilar plenamente essas ferramentas e abordagens complexas em um curto espaço de tempo.

Por um lado, é possível apontar diversos fatores e características que colaboram para o movimento hesitante da Indústria AEC na implementação das novas tecnologias, tais como: a

¹ Design Paramétrico – Processo de design que utiliza técnicas de modelagem paramétrica para definir a geometria e forma estrutural de um projeto, a partir de opções de geometria e forma, que serão decididas pelo arquiteto e cliente. A modelagem paramétrica é uma técnica de modelagem recente, baseada em ferramentas computacionais, para gerar alternativas paramétricas de formas complexas, de forma rápida. (FU, 2018)

² Design Generativo – Processo apoiado em ferramentas computacionais, que permitem explorar progressivamente, alternativas otimizadas de design. Inclui o design paramétrico, avançando para a geração de alternativas otimizadas, com base em algoritmos de otimização definidos pelo projetista, que podem contemplar restrições, premissas e critérios de desempenho. Esta exploração progressiva de alternativas pode resultar em grande variedade de possibilidades (iteração divergente) ou em resultados otimizados com base em objetivos de projeto (iteração convergente), refinando uma abordagem até a melhor alternativa possível. (MELLO, 2017)

³ *Building Information Modeling* (BIM) – Modelagem da Informação de Construção. A AUTODESK (2020) define BIM como um processo inteligente baseado em modelo 3D que fornece aos profissionais de arquitetura, engenharia e construção (AEC) as informações e ferramentas para planejar, projetar, construir e gerenciar com mais eficiência edifícios e infraestrutura. De forma mais sintética, a ABNT (2020) define como uma forma inovadora de desenvolvimento de projetos que integra todas as informações relevantes referentes ao planejamento de construções.

sua fragmentação e deficiência na colaboração entre fornecedores e construtores, a dificuldade na contratação de profissionais qualificados e a insuficiente transferência de conhecimento entre projetos (WEF, 2016); a crescente complexidade dos projetos, as restrições de prazo e orçamento, bem como o aumento das demandas por qualidade, juntamente com o pensamento de curto prazo e desafios culturais (SHAFEI, RADZI, *et al.*, 2022). Por outro, são justamente estes problemas que impulsionam o desenvolvimento de ferramentas, métodos, normatizações técnicas e abordagens de projeto, que possibilitam a absorção das novas tecnologias.

Esta tese surge de uma necessidade identificada no ambiente prático da consultoria em conforto ambiental e eficiência energética de edifícios de escritórios de alto padrão, na cidade de São Paulo. É necessária uma ferramenta-metodológica que ampare avaliações integradas de eficiência energética e conforto ambiental, em projetos de fachadas, orientados ao desempenho, que possibilite:

1. Maior objetividade e agilidade nas análises para redução do tempo de avaliação e melhor adequação aos requisitos de prazos dos projetos;
2. Comunicar e informar tomadores de decisão de projeto de forma mais rápida, amigável e eficaz;
3. Incorporar efetivamente as avaliações de desempenho integradas como processo do *design*, e não apenas como instrumentos de verificação de atendimento de requisitos e critérios normativos, após a definição do *design*.

No cenário atual, a consultoria em desempenho, especificamente para avaliar conforto ambiental e eficiência energética de edifícios de escritórios de alto padrão, é um serviço técnico especializado com demanda gerada pelo mercado imobiliário. Esta demanda é definida por atributos e valores que este mercado imprime aos edifícios de escritórios; estes, configurando como produtos imobiliários neste contexto. Eficiência energética, conforto térmico e lumínico são alguns dos atributos de desempenho destes produtos.

A partir de 2006, o Mercado Imobiliário brasileiro, do segmento de edifícios de escritórios de alto padrão, iniciou o processo de incorporação dos sistemas de certificações voluntárias de eficiência energética, sustentabilidade, saúde e bem-estar de edifícios, que incluem tais atributos como requisitos para as certificações, as quais representam e comunicam os níveis de desempenho de seus produtos (CACCIATORI, 2016). A certificações

fomentam o projeto orientado ao desempenho, incorporando análises científicas ao processo de desenho arquitetônico (SHI e YANG, 2013).

Certificações tais como como LEED, AQUA-HQE, ENCE PBE EDIFICA, WELL, Fitwell (ANEXO D) são destacadas em pesquisas científicas, e pesquisas de mercado realizadas por empresas de Real Estate, como indutoras do aumento da atratividade e valor econômico de edifícios certificados, além da qualidade e desempenho dos bens imobiliários da categoria em análise (JLL, 2023a), (ILDIRI, BAZILLE, *et al.*, 2022), (JLL, 2023b), (ATTEMA, FOWELL, *et al.*, 2018), (SADIKIN, TURAN e CHEGUT, 2020), (IWBI, 2023). Estas pesquisas buscam demonstrar que edifícios certificados possuem um valor de mercado maior em relação aos demais edifícios, logo, valorizam a certificação em si, de modo global.

A empresa de Real Estate JLL aponta que o estoque de edifícios de alto padrão certificados em São Paulo representa 70% do total em área e 58% em número de edifícios, o que é considerado expressivo além de ser superior aos indicadores de cidades como Los Angeles (63%), Sydney (63%), Nova Iorque (60%) e Tokyo (36%) (JLL, 2023b). As certificações passaram então a compor o escopo de projetos de edifícios de escritórios de alto padrão.

Em consequência do processo de incorporação das certificações, houve um aumento da demanda por consultorias técnicas especializadas e o mercado de consultorias começou a se organizar para o seu atendimento. Os sistemas de certificação são complexos e avaliam diversos aspectos de *design*, desempenho e qualidade de edifícios. Para demonstração do atendimento pelo projeto, de cada aspecto avaliado, são adotadas metodologias técnicas específicas, com indicadores, requisitos e critérios estabelecidos. Uma pontuação é atribuída pelo sistema de certificação para diferentes níveis de atendimento.

As normas técnicas internacionais e metodologias nas quais os sistemas de certificação estão baseados, são definidores do escopo dos serviços de consultorias com a finalidade de atender os requisitos das certificações. A percepção de valor do serviço de consultoria no processo de projeto também é influenciada pelo sistema de certificação. Este valor é decorrente de seu potencial de garantir uma pontuação que promova a valorização econômica do bem imobiliário.

Em um contexto prático de projeto com aplicação do sistema de certificação LEED⁴, no processo de definição de quais aspectos de desempenho serão avaliados por meio de consultorias especializadas, já é procedimental responder a pergunta: “Quantos pontos esse indicador traz para o projeto?”; ou ainda: “Qual é o ponto mais barato?”. Estas perguntas podem ser tomadas como indicadores de como as pontuações, atribuídas pelo sistema de certificação a um determinado aspecto de desempenho ou design, impactam a demanda pela consultoria e seu valor, na medida em que ela será contratada quando nenhum ponto mais barato atender os pontos pretendidos pelo projeto⁵.

Por um lado, esse movimento de mercado em busca de certificações para comunicar atributos e valorizar ativos imobiliários contribuiu para o início da incorporação da avaliação de desempenho no processo de projeto de forma mais frequente e sistemática. A definição do escopo da consultoria pelo sistema de certificação, facilitou o posicionamento e a contratação de empresas e profissionais de consultoria. O processo de consultorias em desempenho, no caso de avaliação de atributos de eficiência energética, aproveitamento de iluminação natural, conforto lumínico e térmico passou a demandar profissionais com conhecimento de Normas técnicas internacionais específicas e suas Metodologias de avaliação, bem como o uso de Ferramentas de simulação computacional.

Por outro, aspectos intrínsecos ao desenho dos sistemas de certificação ainda não favorecem a adoção efetiva de abordagens integradas de projeto (AIA, 2007) (ANSI, 2012) e seguem em desenvolvimento.

As consultorias são geralmente realizadas em fases avançadas dos projetos (SCHERZ, HOXHA, *et al.*, 2022), em uma abordagem de projeto convencional, não integrada. É usual que nesta fase já estejam definidas a implantação do edifício, volumetria, aberturas, premissas estéticas e de materiais da fachada. Estas definições avançadas configuram-se muitas vezes

⁴ O sistema de Certificação LEED é o mais frequentemente adotado em projetos de edifícios de escritórios de alto padrão em São Paulo.

⁵ Neste mercado, a consultoria é assimilada como um custo adicional ao projeto. Um exemplo hipotético: Para os aspectos de desempenho considerados nesta tese – Eficiência Energética e Iluminação Natural, um sistema de certificação define 20 e 3 pontos possíveis, respectivamente. Sendo identificada a possibilidade de obtenção dos mesmos 3 pontos de iluminação Natural, com outro aspecto que não demande consultoria especializada, o custo com a consultoria terá sido evitado. A certificação não exige a integração das avaliações, permitindo que sejam independentes. Neste exemplo, ainda concorre o fato de que os custos operacionais podem ser mais significativamente influenciados pela eficiência energética global do edifício, o que representa um forte apelo para o investimento em consultorias específicas para avaliar este aspecto.

como limitações para o potencial das consultorias em contribuir com melhorias significativas de projeto.

A demanda por metodologias que amparem a implementação da simulação para avaliação de desempenho energético nas fases iniciais de projeto de fachada não é uma demanda nova (GRANADEIRO, DUARTE, *et al.*, 2012). Normas técnicas recentes evidenciam os esforços em integrar avaliações com base em simulação de desempenho ao processo de projeto (ASHRAE, 2018).

No entanto, avaliações para diferentes atributos tais como eficiência energética, iluminação natural e conforto térmico ainda ocorrem de forma não integrada, com normas técnicas, metodologias de avaliação e ferramentas não relacionadas (ASHRAE, 2010), (ASHRAE, 2017), (IES, 2012), orientadas para um único objetivo (CHINAZZO, ANDERSEN, *et al.*, 2022). A este respeito, Chichocka, Browne e Rodriguez (2017) identificaram em sua pesquisa que arquitetos julgam serem necessárias técnicas e ferramentas de otimização multiobjetivo, que os profissionais gostariam de compreender os processos de otimização e ter controle total sobre o mesmo. Os fluxos de trabalho de design digital têm tido uma contribuição limitada na previsão do desempenho do projeto durante a fase inicial, e são frequentemente empregados após o desenho estar definido.

As ferramentas e métodos para consultoria em avaliações integradas de desempenho ainda estão em desenvolvimento e não foram incorporados ao processo de projeto. Os contratantes de consultorias, por sua vez, não possuem conhecimentos específicos. Para que compreendam plenamente os resultados de avaliações de conforto ambiental e eficiência energética, consultores têm a responsabilidade de integrar e traduzir esses resultados, de maneira eficaz, para a aplicação prática no projeto. Este é um processo de comunicação que levará as informações de base para os agentes de tomada de decisão do projeto, no que se refere aos requisitos de desempenho dos edifícios.

Para a viabilidade econômica de atividades de consultoria, além do atendimento das demandas técnicas e econômicas do mercado imobiliário, empresas e profissionais prestadores destes serviços também devem ter a capacidade de atender aos requisitos de prazos, custos e qualidade definidos para os projetos de empreendimentos deste mercado. Na indústria AEC de modo geral, para manter a competitividade, as empresas devem ser ágeis

e adotar novas tecnologias, conceitos e mentalidades, o que implica na aquisição de novas competências e na aprendizagem de processos. (ALIZADEHSALEHI, HADAVI e HUANG, 2019)

Dois desafios prementes estão colocados para este mercado: o de responder às demandas de consultoria em prazos exíguos e o de comunicar os resultados de uma avaliação integrada aos contratantes, não especialistas, de maneira rápida e objetiva. A complexidade técnica das análises e o desenvolvimento do projeto em uma abordagem convencional, não integrado, torna essa comunicação ainda mais crítica, sob o risco de que as recomendações decorrentes da avaliação não sejam absorvidas pelo projeto, prejudicando o alcance dos objetivos.

1.1 Objetivos

Objetivo geral:

O objetivo geral desta tese é o desenvolvimento de uma ferramenta metodológica⁶ para análise simultânea de indicadores de desempenho, conforto térmico, lumínico e eficiência energética, para auxiliar o processo de projeto e seleção da solução mais equilibrada de fachadas de edifícios de escritórios.

Objetivos específicos:

1. Proporcionar uma percepção rápida de informações significativas por meio da aplicação criteriosa de técnicas de visualização de dados no desenvolvimento da ferramenta;
2. Agilizar a avaliação multiobjetivo por meio de um método de análise baseado nos elementos gráficos da ferramenta, que permita o controle do tomador de decisão sobre o processo de seleção de alternativas de fachada.

⁶ Usualmente, ferramentas estão inseridas no método, como um recurso utilizado para alcançar resultados específicos, necessários à aplicação do método. Nesta tese uma ferramenta metodológica é um instrumento que contempla um método; para a aplicação da ferramenta, que permite atingir o objetivo de realizar a análise simultânea de indicadores de desempenho de fachadas de edifícios, é necessário seguir uma sequência de processos, que constituem um método de avaliação.

1.2 Justificativa

O tempo está ficando escasso para a filosofia, a religião e a ciência. (...) Se você não sabe o que fazer com o poder da reengenharia da vida, as forças do mercado não vão esperar mil anos por uma resposta. A mão invisível do mercado imporá a sua resposta cega.

Yuval Noah Harari (2018)

Harari (2018) se refere às condições de aplicação da biotecnologia, mas também às tecnologias disruptivas, de modo amplo. O desenho de arquitetura orientado pelo desempenho, está para o contexto da pesquisa proposta, assim como a biotecnologia está para o contexto tratado por este autor. Essa associação se deve à característica de ruptura que carregam as tecnologias, métodos e modelos associados ao *design* por desempenho⁷ em relação aos paradigmas, estruturas e processos vigentes na indústria AEC.

Okamoto (2002) afirmou:

Cabe ao arquiteto desenvolver o desejo de atender a permanente necessidade de uma interação afetiva do homem com o meio ambiente, de modo a favorecer o crescimento pessoal, promover a harmonia do relacionamento social e, sobretudo, aumentar a qualidade de vida.

Em um cenário de desenvolvimento tecnológico em que se busca a implementação de abordagens integradas de projeto, visando entre outros objetivos o bem-estar dos ocupantes, o arquiteto não está só. Neste contexto, é esperado que definições surjam de um processo colaborativo e multidisciplinar (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2010).

Em projetos de edifícios de escritórios de alto padrão na cidade de São Paulo, projetistas enfrentam o desafio de integrar premissas do mercado imobiliário ao projeto arquitetônico, atendendo às expectativas de investidores quanto à viabilidade econômica de seus empreendimentos.

O atendimento de requisitos de eficiência energética, desempenho e conforto ambiental, demandam um conhecimento especializado da equipe de projeto e uma habilidade específica de comunicação de valores aos tomadores de decisão. O atual mercado

⁷ Adotou-se o termo *design* por desempenho para resumir a referência ao desenho de arquitetura orientado pelo desempenho.

imobiliário assumiu em sua agenda, as demandas por requisitos de eficiência energética, conforto ambiental e bem-estar em seus produtos.

Ferramentas de desenho e simulação que possibilitam complexas análises de desempenho estão disponíveis, tais como Rhinoceros 3D⁸ e Grasshopper. Com seu uso, é possível implementar paradigmas de projeto como o *Design* Paramétrico e Generativo que demandam grandes rupturas com os processos de projeto ainda vigentes, além de uma abordagem integrada. Uma ampla adaptação de empresas consolidadas, com profissionais experientes nestes processos, não deverá ocorrer em curto prazo. Contudo, o mercado imobiliário continua seu desenvolvimento e a demanda por níveis de qualidade e desempenho aumentam. Há portanto, um descompasso entre o potencial ritmo de adequação de profissionais e empresas de projeto a novos modelos e processos, e o ritmo de desenvolvimento do mercado imobiliário sob novas demandas de qualidade e valores.

O contexto apresentado justifica o desenvolvimento de instrumentos – tanto métodos quanto ferramentas de análise – que viabilizem uma transição entre modelos de projeto, que agilizem a avaliação, assegurem a qualidade dos resultados técnicos e facilitem a sua aplicação prática. Esses instrumentos devem promover a maturidade técnica de toda a equipe de projeto, permitindo a análise simultânea de indicadores de desempenho de fachadas, a identificação de soluções equilibradas e a comunicação eficaz dos resultados aos stakeholders.

⁸ Rhinoceros 3D é um software de modelagem 3D com capacidade de modelar qualquer forma.

1.3 Hipótese

Esta tese parte da hipótese de que é necessário o desenvolvimento de uma ferramenta metodológico, que simplifique o processo de avaliação integrada multiobjetivo de desempenho de edifícios, tornando-o mais objetivo, ágil, amigável e científico. Como forma de suprir esta lacuna, esta tese desenvolveu a ferramenta P-balance.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento desta tese, explorou particularmente a orientação de pesquisas relacionadas a:

- Abordagens de projeto de arquitetura orientado ao desempenho;
- Avaliação de desempenho de fachadas;
- Desenvolvimento de dispositivos de visualização para apoio ao processo de análise e decisão em avaliações de desempenho;
- Influências do processamento cognitivo e comportamento em processos informados de tomada decisão.

2.1 Arquitetura orientada ao desempenho

Num mundo inundado de informações irrelevantes, clareza é poder.

Yuval Noah Harari (2018)

Na abordagem de desenvolvimento de projetos de arquitetura orientada ao desempenho (POD), é característica a geração de grandes volumes de dados não geométricos, por meio de simulações computacionais. Pesquisadores já consideram a exploração de dados em si como um poderoso processo de decisão, e para tanto, ferramentas de simulação devem permitir explorar, gerar soluções e avaliar dados (JUSSELME, TUOR, *et al.*, 2017). O volume disponível de pesquisas na área de Ciência de Dados aplicadas a avaliação de diversos aspectos relacionados à eficiência energética de edifícios, incluindo design passivo, design paramétrico, otimização de sistemas de ar-condicionado e conforto térmico, chega ao ponto de superar a capacidade humana de serem processadas (ABDELRAHMAN, ZHAN, *et al.*, 2021).

Normas técnicas já se orientam para amparar processos de projeto nos quais a gestão de dados é indispensável. No caso da implementação do BIM por exemplo, a nova norma

ABNT ISO 19650-1:2022⁹ está orientada para apoiar esta gestão. Em contraponto às definições anteriores, que estabeleciam o conceito de níveis específicos de informação por etapa de projeto, a nova norma estabelece os níveis necessários de informação, destacando a importância de se adequar o nível de informação à medida da necessidade específica de cada projeto (SINAENCO, 2022).

A prática da arquitetura atual ainda está amplamente baseada no processo de projeto convencional (PC) que consolidou a orientação para forma-função, estabelecida pelo movimento moderno (ARGAN, 1992). Sobre o fundamento racionalista, cartesiano de Le Corbusier, Argan (1992) observa:

A forma artística é o resultado lógico do “problema bem formulado”: os navios a vapor, os aviões, cuja forma corresponde exatamente à função, são belos como o Partenon. Evidentemente, o problema bem formulado é o que traz todos os dados em ordem, e cuja solução não deixa incógnitas nem resíduos. (Grifo nosso)

No contexto do POD, a forma artística se torna ainda mais dependente do problema bem formulado. Mas, o problema bem formulado possui uma complexidade muito maior, de modo que a organização dos dados não significa mais permitir uma solução sem incógnitas. Passa-se a admitir a incerteza (CHEN e GEYER, 2022) e a relatividade das soluções, a múltiplos objetivos. O processo de adaptação e implementação efetivas de abordagens de POD e uso de ferramentas de otimização tem sido objeto de pesquisas que demonstram as dificuldades encontradas por arquitetos na migração do processo de projeto convencional (SHI e YANG, 2013) e a necessidade de uma ferramenta interativa de otimização multiobjetivo (CICHOCKA, BROWNE e RODRIGUEZ, 2017).

Shi e Yang (2013) destacam problemas no processo de transição entre o PC e o POD, relacionados ao processo de modelagem de dados geométricos e não geométricos, que são ainda observados na prática atual de consultorias em desempenho de edifícios:

1. O processo de geração de um modelo analisável, que represente adequadamente a complexidade da arquitetura, é demorado e trabalhoso;

⁹ Norma ABNT-ISO 19650-1:2022 - Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem de informações de construção (BIM) — Gerenciamento de informações usando modelagem de informações de construção

2. É usual que um modelo geométrico desenvolvido pela arquitetura seja dispensado e um modelo totalmente novo para análise seja gerado, configurado diretamente no software de simulação, com inserção de dados, geométricos e não geométricos, pelo profissional que realiza a simulação;
3. As simplificações de modelagem para efeito de análise podem gerar no arquiteto a percepção de que a complexidade e detalhes importantes da arquitetura e sua estética não estão adequadamente representados.

Os autores apontam para solução destes problemas por meio da incorporação da análise de desempenho em estágios iniciais de projeto, com base em novas abordagens e técnicas, que permitam a visualização de resultados de desempenho de diferentes soluções arquitetônicas pelo arquiteto e cliente. Oliveira (2015) aborda o desenho da informação por meio de técnicas de visualização de dados (TVD) como entidades intermediárias de projeto, propondo seu uso para auxiliar na condução e tratamento da complexidade dos problemas de projeto.

A próxima seção desta revisão bibliográfica refere-se à pesquisas com foco em soluções de fachada para otimizar o desempenho de edifícios. Tais pesquisas abordam a questão da complexidade das análises e avaliações de dados de desempenho, apontando para uso de tecnologias e ferramentas que permitam maior objetividade nas análises multiobjetivo e a redução do tempo de avaliação.

2.2 Avaliação de Desempenho de Fachadas

A complexidade do projeto de fachadas inclui desafios como equilibrar múltiplos objetivos de desempenho, o que tem orientado muitas pesquisas na área de arquitetura. Investigam-se atualmente soluções diversas relativas a questões clássicas do desempenho de fachadas, que envolvem a busca por *trade-offs*¹⁰ equilibrados entre diferentes aspectos como eficiência energética, conforto e desempenhos térmico e lumínico, (TAVERES-CACHAT, FAVOINO, *et al.*, 2021), (CHEN, ABUALDENIEN, *et al.*, 2022), (FARAMARZI, MIRJALILI e

¹⁰ *Trade-offs* entre métricas de desempenho no contexto de avaliação de edifícios via simulação computacional significa as trocas que devem ser identificadas para um processo de desenho informado e consciente. Por exemplo: favorecer a iluminação natural em áreas mais profundas aumentando a área de janela pode acarretar desconforto térmico na área da fachada. O tomador de decisão de projeto – designer, deverá escolher se aceita a troca da qualidade térmica da fachada pela qualidade de iluminação natural da área mais distante da janela.

HEIDARINEJAD, 2022), (YAN, YAN e JI, 2022) (BAGHOOLIZADEH, ROSTAMZADEH-RENANI, *et al.*, 2023).

Entre as estratégias de desenho e elementos arquitetônicos, são estudadas fachadas cinéticas ou dinâmicas (KIM e KIM, 2017), (MALLASI, 2018), sombreamento de janelas (BAGHOOLIZADEH, ROSTAMZADEH-RENANI, *et al.*, 2023), sombreamento de superfícies opacas (SHAH, SOH, *et al.*, 2023), avaliações paramétricas com variações de materiais e desenhos de fachada (CACCIATORI, 2016), (BAHDAD, FADZIL, *et al.*, 2022).

No campo de tomada de decisão em projeto, são conduzidas pesquisas para aplicação de ferramentas de apoio a tomada de decisão em problemas com objetivos conflitantes. São estudadas estruturas de otimização estocástica multiobjetivo¹¹ sob condições de incerteza - NSGA-II¹² (ZONG, MARGESIN, *et al.*, 2022), (CHEN, ABUALDENIEN, *et al.*, 2022), (BAGHOOLIZADEH, ROSTAMZADEH-RENANI, *et al.*, 2023), e algoritmos de aprendizado de máquina - XGBoost¹³ (Extreme Gradient Boosting) (YAN, YAN e JI, 2022). Alguns autores dedicaram sua pesquisa a identificar estratégias de visualização de dados de desempenho para apoiar o processo de análise e decisão, de modo que o analista tenha uma participação ativa na seleção de alternativas (CACCIATORI, 2016), (KO, SCHIAVON, *et al.*, 2018).

Cacciatori (2016) desenvolveu uma ferramenta para seleção de diretrizes de projeto de fachadas de escritório, com o objetivo de permitir um processo de tomada de decisão informado, para consultores e clientes. A ferramenta foi proposta para a avaliação simultânea de dois indicadores: eficiência energética e viabilidade econômica. Foi adotado um edifício

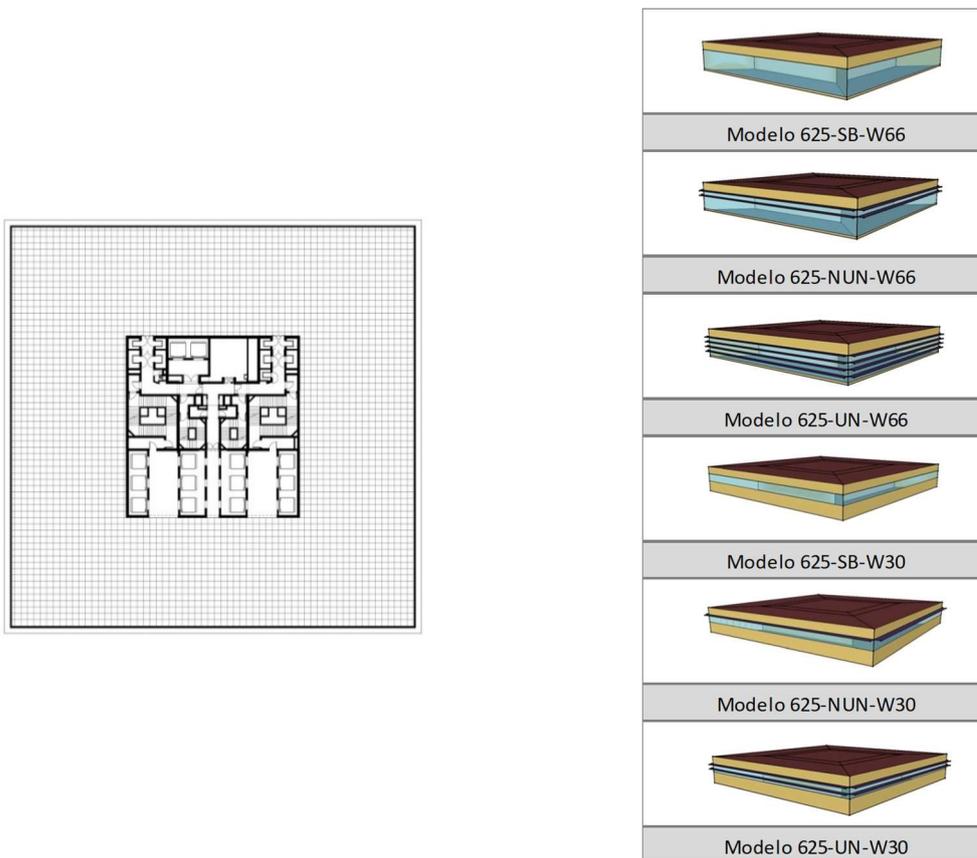
¹¹ Otimização Multiobjetivo Estocástica é um campo da otimização que lida com a busca pelas melhores soluções em situações em que existem múltiplos objetivos a serem otimizados e a presença de incerteza ou aleatoriedade nos dados ou no sistema. Isso significa que, ao invés de otimizar um único objetivo, como é o caso em problemas de otimização tradicionais, a otimização multiobjetivo estocástica busca encontrar um conjunto de soluções que representam um compromisso entre múltiplos objetivos, levando em consideração a incerteza associada a esses objetivos. Essa abordagem é amplamente utilizada em diversos campos, como engenharia, economia e ciência da computação, quando se lida com problemas complexos nos quais há várias metas a serem alcançadas e onde as variáveis ou os parâmetros podem variar de forma aleatória. O objetivo é encontrar soluções que sejam robustas em face da incerteza e que representem *trade-offs* equilibrados entre os objetivos em consideração.

¹² O NSGA-II (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*) é uma estrutura de otimização estocástica multiobjetivo. É uma técnica utilizada para resolver problemas que envolvem a otimização de várias metas ao mesmo tempo, onde essas metas podem estar em conflito umas com as outras. O NSGA-II é particularmente útil quando se trata de encontrar soluções que representam um equilíbrio entre essas metas conflitantes, conhecido como um conjunto de soluções Pareto-ótimo. É amplamente utilizado em áreas como engenharia, design, economia e muitas outras onde a tomada de decisões envolve considerar várias metas simultaneamente.

¹³ O XGBoost (*Extreme Gradient Boosting*) é um algoritmo de aprendizado de máquina que pertence à família de algoritmos de *gradient boosting*. Ele é usado principalmente para tarefas de classificação e regressão.

referencial de planta quadrada com núcleo de serviços central e seis configurações de desenho da fachada (**Figura 1**), com as variações paramétricas relacionadas no **Quadro 1**.

Figura 1 - Planta esquemática Ilustrativa - Pavimento Tipo Referencial: Planta quadrada, com núcleo central não climatizado (dir.) e Configurações de desenho de fachada - Saída gráfica do EnergyPlus visualizada em Sketchup (esq.)



Nota: Nas figuras acima – saída do Sketchup, os elementos representados em amarelo são opacos – viga de borda e vedação vertical - com sobreposição de vidro da fachada cortina – ver detalhes de arquitetura na seção 3.1.1.

Fonte: Cacciatori (2016)

Quadro 1 - Variáveis, Identificadores (ID), Parâmetros e Critérios dos Modelos Estudados

VARIÁVEL	ID	PARÂMETRO	CRITÉRIOS
ÁREA	625	Área total do pavimento tipo (m ²)	A partir de 500 m ² , edifícios de escritórios podem ser classificados em alto padrão. Mas se uma mesma tipologia de fachada é aplicada, os impactos em carga térmica e consumo são muito diferentes.
	1000	Área total do pavimento tipo	
	1500	Área total do pavimento tipo	
	2500	Área total do pavimento tipo	
WWR (Window-to-wall Ratio : Percentual de Área Transparente na fachada)	W30	WWR 30%	WWR mínimo, em uma estrutura com altura de laje à laje de 4,15m, limitado por um peitoril padrão de 1,00m, e uma altura de verga superior de 2,35m, que garante vistas ao exterior.
	W66	WWR 66%	WWR máximo, em uma estrutura com altura de laje à laje de 4,15m, limitado por uma compartimentação vertical mínima de 1,20m (IT-09 do Corpo de Bombeiros).
BRISES	SB	Sem brise	Padrão mais frequente entre as tipologias tipo cortina de vidro.
	UN	Brises uniformemente distribuídos	Sombreamento uniforme com ângulo vertical (α) de 45°.
	NUN	Brises não uniformemente distribuídos	Sombreamento não uniforme, com variação do ângulo vertical (α).
VIDRO	V142	Laminado - Fator solar (FS) 42% - 5,6 (W/(m ² .K))	Tipologias de vidro especificadas com maior frequência em empreendimentos de edifícios de alto padrão.
	V235	Laminado - FS 35% - 5,6 (W/(m ² .K))	
	V330	Laminado - FS 30% - 5,6 (W/(m ² .K))	
	V433	Insulado Laminado - FS 33% - 2,7 (W/(m ² .K))	Tipologias menos frequentes, estudadas para estabelecer comparativos de desempenho e viabilidade.
	V532	Insulado Laminado - FS 32% - 1,6 (W/(m ² .K))	
	V621	Insulado Laminado - FS 21% - 2,7 (W/(m ² .K))	
DRY-WALL	DW1	Drywall corta fogo, sem isolante térmico	Sistema adotado com maior frequência, estudados com e sem isolante térmico para estabelecer comparativos de desempenho e viabilidade.
	DW2	Drywall corta fogo, com isolante térmico	
CARGA INTERNA (ILD)	DA	Densidade alta - 5m ² /pessoa + 22 W/m ² equip + 12 W/m ² ilum	Composições de densidade de carga de utilização com base parâmetros da NBR 16.401 e ASHRAE Standard 90.1, sendo que a densidade alta é mais frequente na tipologia de empreendimento em estudo.
	DB	Densidade baixa - 9m ² /pessoa + 11 W/m ² equip + 12 W/m ² ilum	

Fonte: Cacciatori (2016)

Quadro 2 – Sistema de Classificação de Viabilidade Econômica (VE) de modelos de fachadas

Classificação de Viabilidade Econômica				
Classe	Critério 1: Payback / TIR	Critério 2 : Investimento Inicial diferencial		
		Pavimento Tipo 625 m²	Pavimento Tipo 1000 m²	Pavimento Tipo 1500 e 2500 m²
I	Pay-back imediato (zero)	Fluxo de caixa positivo - investimento inicial menor do que o referencial	Fluxo de caixa positivo - investimento inicial menor do que o referencial	Fluxo de caixa positivo - investimento inicial menor do que o referencial
II	1 ≤ PBk ≤ 3 anos	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II ≤ R\$ 300k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II ≤ R\$ 300k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II ≤ R\$ 500k
III		Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 600k ≤ II ≤ R\$ 900k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 300k ≤ II ≤ R\$ 600k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 500k ≤ II ≤ R\$ 1000k
IV	3 ≤ PBk ≤ 6 anos	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 300k ≤ II ≤ R\$ 600k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 300k ≤ II ≤ R\$ 600k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II ≤ R\$ 500k
V		Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 600k ≤ II ≤ R\$ 900k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 600k ≤ II ≤ R\$ 900k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 500k ≤ II ≤ R\$ 1000k
VI		Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 900k ≤ II ≤ R\$ 1200k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 900k ≤ II ≤ R\$ 1200k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 1000k ≤ II ≤ R\$ 1500k
VII	6 ≤ PBk ≤ 10 anos	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 1200k ≤ II ≤ R\$ 1500k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 1200k ≤ II ≤ R\$ 1500k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial R\$ 1500k ≤ II ≤ R\$ 2000k
VIII		Investimento inicial (II) maior do que o referencial II > R\$ 1500k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II > R\$ 1500k	Investimento inicial (II) maior do que o referencial II > R\$ 2000k
Não classificável	Pay-back superior à 10 anos e/ou TIR < TMA (12%)	Qualquer investimento inicial	Qualquer investimento inicial	Qualquer investimento inicial

Fonte: Cacciatori (2016)

Quadro 3 – Classificação geral de viabilidade econômica de todos os modelos, ordenados por tipologia de fachada

TIPOLOGIAS DE FACHADA				625-DA	2500-DA
SB	W66	V142	DW1	SB-W66-V142-DW1	SB-W66-V142-DW1
SB	W66	V235	DW1	SB-W66-V235-DW1	SB-W66-V235-DW1
SB	W66	V330	DW1	SB-W66-V330-DW1	SB-W66-V330-DW1
SB	W66	V433	DW1	SB-W66-V433-DW1	SB-W66-V433-DW1
SB	W66	V531	DW1	SB-W66-V531-DW1	SB-W66-V531-DW1
SB	W66	V621	DW1	SB-W66-V621-DW1	SB-W66-V621-DW1
SB	W66	V142	DW2	SB-W66-V142-DW2	SB-W66-V142-DW2
SB	W66	V235	DW2	SB-W66-V235-DW2	SB-W66-V235-DW2
SB	W66	V330	DW2	SB-W66-V330-DW2	SB-W66-V330-DW2
SB	W66	V433	DW2	SB-W66-V433-DW2	SB-W66-V433-DW2
SB	W66	V531	DW2	SB-W66-V531-DW2	SB-W66-V531-DW2
SB	W66	V621	DW2	SB-W66-V621-DW2	SB-W66-V621-DW2
NUN	W66	V142	DW1	NUN-W66-V142-DW1	NUN-W66-V142-DW1
NUN	W66	V235	DW1	NUN-W66-V235-DW1	NUN-W66-V235-DW1
NUN	W66	V330	DW1	NUN-W66-V330-DW1	NUN-W66-V330-DW1
NUN	W66	V433	DW1	NUN-W66-V433-DW1	NUN-W66-V433-DW1
NUN	W66	V531	DW1	NUN-W66-V531-DW1	NUN-W66-V531-DW1
NUN	W66	V621	DW1	NUN-W66-V621-DW1	NUN-W66-V621-DW1
NUN	W66	V142	DW2	NUN-W66-V142-DW2	NUN-W66-V142-DW2
NUN	W66	V235	DW2	NUN-W66-V235-DW2	NUN-W66-V235-DW2
NUN	W66	V330	DW2	NUN-W66-V330-DW2	NUN-W66-V330-DW2
NUN	W66	V433	DW2	NUN-W66-V433-DW2	NUN-W66-V433-DW2
NUN	W66	V531	DW2	NUN-W66-V531-DW2	NUN-W66-V531-DW2
NUN	W66	V621	DW2	NUN-W66-V621-DW2	NUN-W66-V621-DW2
UN	W66	V142	DW1	UN-W66-V142-DW1	UN-W66-V142-DW1
UN	W66	V235	DW1	UN-W66-V235-DW1	UN-W66-V235-DW1
UN	W66	V330	DW1	UN-W66-V330-DW1	UN-W66-V330-DW1
UN	W66	V433	DW1	UN-W66-V433-DW1	UN-W66-V433-DW1
UN	W66	V531	DW1	UN-W66-V531-DW1	UN-W66-V531-DW1
UN	W66	V621	DW1	UN-W66-V621-DW1	UN-W66-V621-DW1
UN	W66	V142	DW2	UN-W66-V142-DW2	UN-W66-V142-DW2
UN	W66	V235	DW2	UN-W66-V235-DW2	UN-W66-V235-DW2
UN	W66	V330	DW2	UN-W66-V330-DW2	UN-W66-V330-DW2
UN	W66	V433	DW2	UN-W66-V433-DW2	UN-W66-V433-DW2
UN	W66	V531	DW2	UN-W66-V531-DW2	UN-W66-V531-DW2
UN	W66	V621	DW2	UN-W66-V621-DW2	UN-W66-V621-DW2
SB	W30	V142	DW1	SB-W30-V142-DW1	SB-W30-V142-DW1
SB	W30	V235	DW1	SB-W30-V235-DW1	SB-W30-V235-DW1
SB	W30	V330	DW1	SB-W30-V330-DW1	SB-W30-V330-DW1
SB	W30	V433	DW1	SB-W30-V433-DW1	SB-W30-V433-DW1
SB	W30	V531	DW1	SB-W30-V531-DW1	SB-W30-V531-DW1
SB	W30	V621	DW1	SB-W30-V621-DW1	SB-W30-V621-DW1
SB	W30	V142	DW2	SB-W30-V142-DW2	SB-W30-V142-DW2
SB	W30	V235	DW2	SB-W30-V235-DW2	SB-W30-V235-DW2
SB	W30	V330	DW2	SB-W30-V330-DW2	SB-W30-V330-DW2
SB	W30	V433	DW2	SB-W30-V433-DW2	SB-W30-V433-DW2
SB	W30	V531	DW2	SB-W30-V531-DW2	SB-W30-V531-DW2
SB	W30	V621	DW2	SB-W30-V621-DW2	SB-W30-V621-DW2
NUN	W30	V142	DW1	NUN-W30-V142-DW1	NUN-W30-V142-DW1
NUN	W30	V235	DW1	NUN-W30-V235-DW1	NUN-W30-V235-DW1
NUN	W30	V330	DW1	NUN-W30-V330-DW1	NUN-W30-V330-DW1
NUN	W30	V433	DW1	NUN-W30-V433-DW1	NUN-W30-V433-DW1
NUN	W30	V531	DW1	NUN-W30-V531-DW1	NUN-W30-V531-DW1
NUN	W30	V621	DW1	NUN-W30-V621-DW1	NUN-W30-V621-DW1
NUN	W30	V142	DW2	NUN-W30-V142-DW2	NUN-W30-V142-DW2
NUN	W30	V235	DW2	NUN-W30-V235-DW2	NUN-W30-V235-DW2
NUN	W30	V330	DW2	NUN-W30-V330-DW2	NUN-W30-V330-DW2
NUN	W30	V433	DW2	NUN-W30-V433-DW2	NUN-W30-V433-DW2
NUN	W30	V531	DW2	NUN-W30-V531-DW2	NUN-W30-V531-DW2
NUN	W30	V621	DW2	NUN-W30-V621-DW2	NUN-W30-V621-DW2
UN	W30	V142	DW1	UN-W30-V142-DW1	UN-W30-V142-DW1
UN	W30	V235	DW1	UN-W30-V235-DW1	UN-W30-V235-DW1
UN	W30	V330	DW1	UN-W30-V330-DW1	UN-W30-V330-DW1
UN	W30	V433	DW1	UN-W30-V433-DW1	UN-W30-V433-DW1
UN	W30	V531	DW1	UN-W30-V531-DW1	UN-W30-V531-DW1
UN	W30	V621	DW1	UN-W30-V621-DW1	UN-W30-V621-DW1
UN	W30	V142	DW2	UN-W30-V142-DW2	UN-W30-V142-DW2
UN	W30	V235	DW2	UN-W30-V235-DW2	UN-W30-V235-DW2
UN	W30	V330	DW2	UN-W30-V330-DW2	UN-W30-V330-DW2
UN	W30	V433	DW2	UN-W30-V433-DW2	UN-W30-V433-DW2
UN	W30	V531	DW2	UN-W30-V531-DW2	UN-W30-V531-DW2
UN	W30	V621	DW2	UN-W30-V621-DW2	UN-W30-V621-DW2

Quadro 4 – Classificação geral de viabilidade econômica de todos os modelos, ordenados pelo percentual de redução de consumo anual de energia elétrica, do maior percentual para o menor

ID	625-DA	2500-DA
1	SB-W66-V142-DW1	SB-W66-V142-DW1
2	UN-W30-V621-DW2	UN-W30-V621-DW2
3	NUN-W30-V621-DW2	UN-W66-V621-DW2
4	UN-W30-V433-DW2	UN-W66-V621-DW1
5	UN-W30-V531-DW2	UN-W30-V330-DW2
6	UN-W66-V621-DW2	NUN-W30-V621-DW2
7	UN-W66-V621-DW1	UN-W30-V433-DW2
8	UN-W30-V330-DW2	UN-W30-V235-DW2
9	NUN-W30-V433-DW2	UN-W30-V531-DW2
10	UN-W30-V235-DW2	UN-W30-V142-DW2
11	NUN-W30-V531-DW2	UN-W66-V433-DW2
12	SB-W30-V621-DW2	NUN-W66-V621-DW2
13	UN-W66-V531-DW2	NUN-W30-V433-DW2
14	UN-W30-V621-DW1	NUN-W30-V330-DW2
15	UN-W30-V142-DW2	UN-W66-V433-DW1
16	UN-W66-V531-DW1	UN-W30-V621-DW1
17	UN-W66-V433-DW2	NUN-W66-V621-DW1
18	NUN-W30-V330-DW2	SB-W30-V621-DW2
19	UN-W66-V621-DW2	NUN-W30-V531-DW2
20	NUN-W66-V433-DW1	UN-W66-V531-DW2
21	UN-W30-V433-DW1	NUN-W30-V235-DW2
22	UN-W30-V531-DW1	UN-W66-V531-DW1
23	NUN-W66-V621-DW1	UN-W30-V433-DW1
24	NUN-W30-V235-DW2	NUN-W30-V621-DW1
25	NUN-W30-V621-DW1	UN-W30-V330-DW1
26	SB-W30-V433-DW2	UN-W66-V330-DW2
27	NUN-W30-V142-DW2	UN-W30-V531-DW1
28	SB-W30-V531-DW2	NUN-W30-V142-DW1
29	NUN-W30-V330-DW1	UN-W30-V235-DW1
30	NUN-W30-V433-DW1	UN-W66-V330-DW1
31	NUN-W30-V531-DW1	SB-W30-V433-DW2
32	UN-W30-V235-DW1	UN-W66-V235-DW2
33	NUN-W66-V531-DW2	UN-W30-V142-DW1
34	NUN-W66-V433-DW2	NUN-W30-V433-DW1
35	NUN-W66-V531-DW1	NUN-W66-V433-DW1
36	SB-W30-V621-DW1	UN-W66-V235-DW1
37	UN-W30-V142-DW1	SB-W66-V621-DW2
38	SB-W66-V621-DW2	SB-W30-V531-DW2
39	NUN-W66-V433-DW1	NUN-W30-V531-DW1
40	SB-W30-V330-DW2	NUN-W30-V330-DW1
41	NUN-W30-V330-DW1	NUN-W66-V433-DW1
42	SB-W66-V621-DW1	SB-W66-V621-DW1
43	UN-W66-V330-DW2	NUN-W66-V531-DW1
44	NUN-W30-V235-DW1	SB-W30-V621-DW1
45	UN-W66-V330-DW1	SB-W30-V330-DW2
46	SB-W30-V235-DW2	NUN-W30-V235-DW1
47	UN-W66-V235-DW2	NUN-W66-V531-DW1
48	SB-W30-V433-DW1	UN-W66-V142-DW2
49	SB-W30-V531-DW1	UN-W66-V142-DW1
50	UN-W66-V235-DW1	SB-W30-V235-DW2
51	NUN-W30-V142-DW2	NUN-W30-V142-DW1
52	SB-W30-V142-DW1	NUN-W66-V330-DW1
53	UN-W66-V142-DW2	SB-W30-V433-DW1
54	UN-W66-V142-DW1	NUN-W66-V330-DW1
55	SB-W66-V531-DW2	SB-W30-V531-DW1
56	SB-W66-V433-DW2	SB-W30-V142-DW2
57	SB-W66-V531-DW1	NUN-W66-V235-DW1
58	SB-W66-V433-DW1	SB-W66-V433-DW2
59	NUN-W66-V330-DW2	SB-W30-V330-DW1
60	SB-W30-V330-DW1	NUN-W66-V235-DW1
61	NUN-W66-V330-DW1	SB-W66-V433-DW1
62	SB-W30-V235-DW1	SB-W66-V531-DW2
63	NUN-W66-V235-DW2	SB-W30-V235-DW1
64	NUN-W66-V235-DW1	SB-W66-V531-DW1
65	SB-W30-V142-DW1	NUN-W66-V142-DW1
66	NUN-W66-V142-DW2	NUN-W66-V142-DW1
67	NUN-W66-V142-DW1	SB-W30-V142-DW1
68	SB-W66-V330-DW2	SB-W66-V330-DW2
69	SB-W66-V330-DW1	SB-W66-V330-DW1
70	SB-W66-V235-DW2	SB-W66-V235-DW2
71	SB-W66-V235-DW1	SB-W66-V235-DW1
72	SB-W66-V142-DW2	SB-W66-V142-DW2

Quadro 5 - Composições de fachadas, ordenadas pelo nível de redução percentual de consumo anual de energia elétrica de cada modelo

625-DA				2500-DA					
SB	W66	V142	DW1	ref	SB	W66	V142	DW1	ref
UN	W30	V621	DW2	15%	UN	W30	V621	DW2	8%
NUN	W30	V621	DW2	14%	UN	W66	V621	DW2	8%
UN	W30	V433	DW2	14%	UN	W66	V621	DW1	8%
UN	W30	V531	DW2	14%	UN	W30	V330	DW2	8%
UN	W66	V621	DW2	14%	NUN	W30	V621	DW2	8%
UN	W66	V621	DW1	14%	UN	W30	V433	DW2	8%
UN	W30	V330	DW2	14%	UN	W30	V235	DW2	7%
NUN	W30	V433	DW2	14%	UN	W30	V531	DW2	7%
UN	W30	V235	DW2	13%	UN	W30	V142	DW2	7%
NUN	W30	V531	DW2	13%	UN	W66	V433	DW2	7%
SB	W30	V621	DW2	13%	NUN	W66	V621	DW2	7%
UN	W66	V531	DW2	13%	NUN	W30	V433	DW2	7%
UN	W30	V621	DW1	13%	NUN	W30	V330	DW2	7%
UN	W30	V142	DW2	13%	UN	W66	V433	DW1	7%
UN	W66	V531	DW1	13%	UN	W30	V621	DW1	7%
UN	W66	V433	DW2	13%	NUN	W66	V621	DW1	7%
NUN	W30	V330	DW2	13%	SB	W30	V621	DW2	7%
NUN	W66	V621	DW2	13%	UN	W30	V531	DW2	7%
UN	W66	V433	DW1	13%	UN	W66	V531	DW2	7%
UN	W30	V433	DW1	12%	NUN	W30	V235	DW2	7%
UN	W30	V531	DW1	12%	UN	W66	V531	DW1	7%
NUN	W66	V621	DW1	12%	UN	W30	V433	DW1	7%
NUN	W30	V235	DW1	12%	UN	W30	V621	DW1	6%
NUN	W30	V621	DW2	12%	UN	W30	V330	DW1	6%
SB	W30	V433	DW2	12%	UN	W66	V330	DW2	6%
NUN	W30	V142	DW2	12%	UN	W30	V531	DW1	6%
SB	W30	V531	DW2	12%	NUN	W30	V142	DW2	6%
UN	W30	V330	DW1	11%	UN	W30	V235	DW1	6%
NUN	W30	V433	DW1	11%	UN	W66	V330	DW1	6%
NUN	W30	V531	DW1	11%	SB	W30	V433	DW2	6%
UN	W30	V235	DW1	11%	UN	W66	V235	DW2	6%
UN	W66	V531	DW2	11%	UN	W30	V142	DW1	6%
NUN	W66	V433	DW2	11%	NUN	W30	V433	DW1	6%
NUN	W66	V531	DW1	11%	NUN	W66	V433	DW2	6%
SB	W30	V621	DW1	11%	UN	W66	V235	DW1	6%
UN	W30	V142	DW1	11%	SB	W66	V621	DW2	6%
SB	W66	V621	DW2	11%	SB	W30	V531	DW2	6%
NUN	W66	V433	DW1	11%	NUN	W30	V531	DW1	6%
SB	W30	V330	DW2	10%	NUN	W30	V330	DW1	6%
NUN	W30	V330	DW1	10%	NUN	W66	V433	DW1	6%
SB	W66	V621	DW1	10%	SB	W66	V621	DW1	6%
UN	W66	V330	DW2	10%	NUN	W66	V531	DW2	6%
NUN	W30	V235	DW1	10%	SB	W30	V621	DW1	5%
UN	W66	V330	DW1	10%	SB	W30	V330	DW2	5%
SB	W30	V235	DW2	10%	NUN	W30	V235	DW1	5%
UN	W66	V235	DW2	10%	NUN	W66	V531	DW1	5%
SB	W30	V433	DW1	9%	UN	W66	V142	DW2	5%
SB	W30	V531	DW1	9%	UN	W66	V142	DW1	5%
UN	W66	V235	DW1	9%	SB	W30	V235	DW2	5%
NUN	W30	V142	DW1	9%	NUN	W30	V142	DW1	5%
SB	W30	V142	DW2	9%	NUN				

A ferramenta, que se caracteriza como um menu de seleção, apresenta as alternativas paramétricas de fachada com uma classificação cromática relativa ao seu nível de viabilidade econômica (**Quadro 2**) e permite dois modos de visualização:

Por tipologia (Quadro 3¹⁴): que organiza as composições com base no nível de proteção solar de suas variáveis de fachada, do menos protegido para o mais protegido e,

Por nível de eficiência energética relativa (Quadro 4): que organiza os modelos de cada coluna, que representa áreas de pavimento tipo diferentes, do mais eficiente para o menos eficiente em relação a um referencial estabelecido. O **Quadro 5** complementa a informação do **Quadro 4**, possibilitando uma terceira forma de visualização: destaca de forma cromática os padrões de concentração de determinados parâmetros em relação ao nível de eficiência energética relativa de cada composição.

Ko, Schiavon, et al. (2018) desenvolveram uma visualização de resultados de simulação de três diferentes métricas de desempenho relacionadas ao conforto do ocupante – autonomia térmica, de ventilação natural e de iluminação natural, para duas cidades, com base em um modelo simples: uma única zona térmica / ambiente. A visualização desenvolvida teve como objetivo demonstrar como as diferentes métricas se comportam simultaneamente e assim superar a dificuldade que o designer encontra para comparar e obter avaliações objetivas via mapas espaciais (**Figura 2**) com valores anuais simulados. Apresentam uma representação gráfica horária e anual que permitem a avaliação simultânea e demonstração de *trade-offs* entre as diferentes métricas (**Figura 3**). A representação anual está baseada em um esquema gráfico, com 9 cores e diferentes tamanhos de círculos para representar os aspectos combinados de autonomia de iluminação natural e conforto térmico (**Figura 4**). Também são apresentados um esquema gráfico para avaliação anual de autonomia de ventilação natural e um esquema que combina as três métricas consideradas no estudo.

¹⁴ Originalmente, cada coluna dos quadros apresentados é formada pelos modelos de grupos distintos que associam diferentes áreas de pavimento tipo (625, 1000, 1500 e 2500 m²) e duas densidades internas de ocupação, alta (DA) e baixa (DB). Neste documento, estão apresentados apenas os conjuntos 625-DA e 2500-DA, para efeito de demonstração.

Figura 2 – Mapas espaciais de um ambiente, para comparação entre simulações de autonomia de iluminação natural (UDI-a, A e D; ASE1000/250lux, Be E) e autonomia térmica (C e F) para duas localidades: Helena, MT e Phoenix, AZ

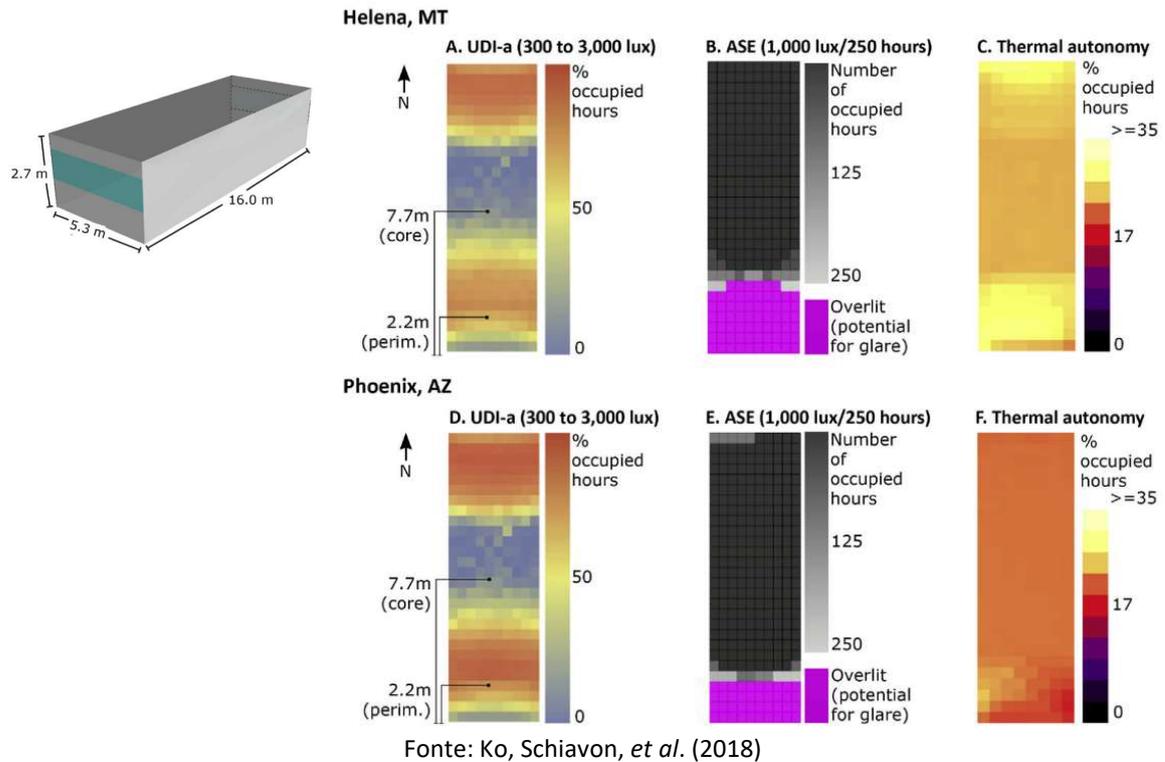
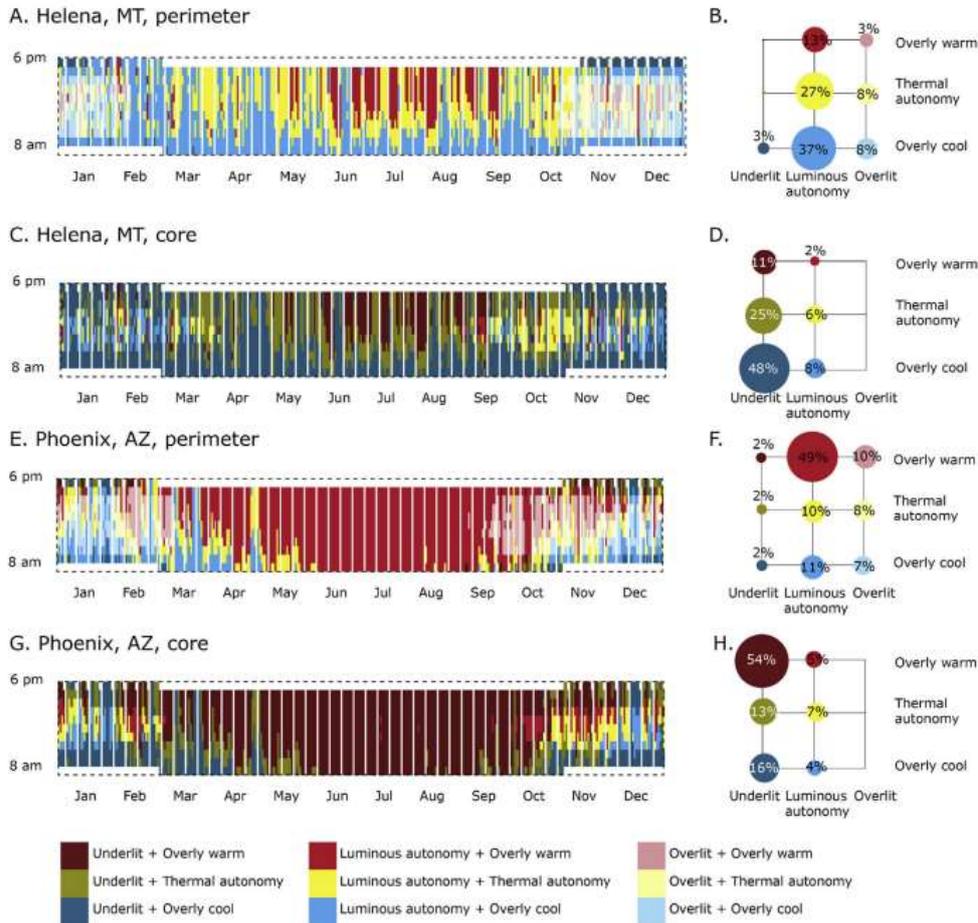


Figura 3 – Representação visual do desempenho combinado de autonomia térmica e de iluminação natural, em 9 cores



Fonte: Ko, Schiavon, *et al.* (2018)

Figura 4 – Análise simultânea de autonomia térmica e luminosa: mapa de autonomia horária a resumo anual; A e B: Fachada sul – Helena; C e D: core, Helena; E e F: Fachada sul – Phoenix; G e H: core, Phoenix.



Fonte: Ko, Schiavon, *et al.* (2018)

Considerando a importância da participação ativa de consultores e clientes em um processo informado de tomada de decisão de projeto, a efetividade de ferramentas de apoio para avaliação de desempenho de edifícios está primordialmente relacionada à capacidade destes agentes de realizarem análises objetivas dos dados de desempenho gerados em simulações. Portanto, para o desenvolvimento de ferramentas que atendam ao objetivo proposto, é indispensável o estudo de Técnicas de Visualização de Dados (TVD).

2.3 Técnicas e Visualização de Dados e o Desenho da Informação

A habilidade de encontrar o que é útil nas montanhas de dados que nos cercam, dar-lhes sentido e então apresentá-los clara e precisamente forma a fundação na qual a era da informação irá finalmente completar sua promessa.

Stephen Few (2012)

As formas mais eficientes de visualizar dados, são aquelas que explicam muitas coisas, com poucas palavras e imagens, reduzindo a carga cognitiva.

Cairo (2012)

Os seres humanos pensam em forma de narrativas e não de fatos, números ou equações, e, quanto mais simples a narrativa, melhor.

Yuval Noah Harari (2018)

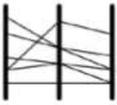
Srivastav, Lannon, et al. (2009) já apontavam para necessidade imediata de se investigar as TVD em profundidade, bem como desenvolver novos métodos que representem dados multidimensionais de modo efetivo, facilitando sua compreensão. A falta de TVD aplicadas adequadamente em ferramentas de simulação já foi apontada como uma das principais razões para o fato de tais ferramentas não terem sido incorporadas de forma significativa à prática profissional; o estudo sistemático da relação entre entradas e saídas de dados e a comunicação com clientes devem ser viabilizados com uso de TVD. Estes autores definem alguns fundamentos para uma boa visualização de dados de simulação e análise:

- Sempre que possível, a estratégia de visualização deve derivar de métodos manuais para ajudar os designers a fazerem uma transição da sua prática atual;
- Deve ter a capacidade de representar dados multidimensionais;
- Deve ser interativo e permitir uma comunicação eficaz entre intervenientes de diversas origens;
- Deve ser proporcionado estímulo suficiente ao intérprete, de modo que a complexidade das representações sejam equilibradas e não sobrecarreguem o seu sistema perceptivo.

Jusselme, Tuor *et al.* (2017) afirmam que os softwares para simulação de performance de edifícios (Building Performance Simulation – BPS) ainda são limitados em permitir a exploração de dados de entrada e saída, a interação com tais dados, e em permitir a extração

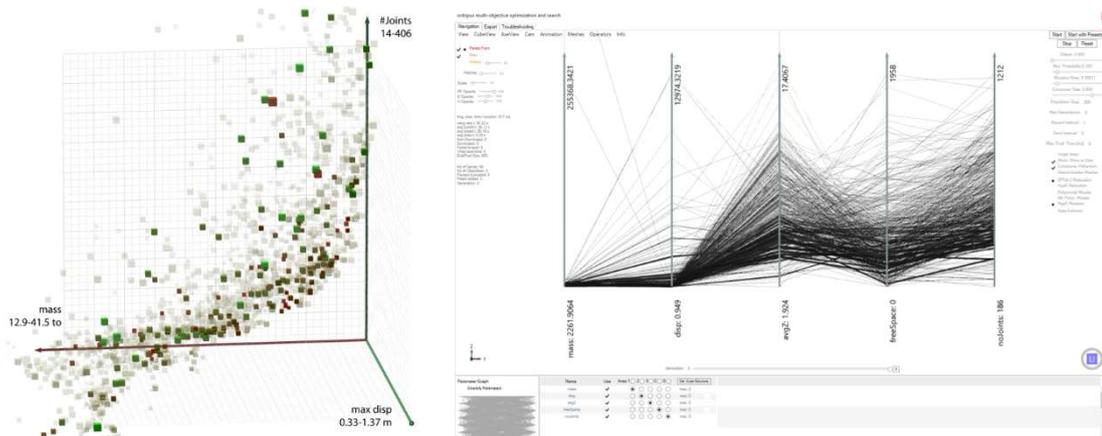
de padrões significativos de informações e análises. Em sua pesquisa, os autores exploraram duas técnicas de visualização de dados: Árvore de Decisão e Coordenadas Paralelas. Apontam para a falta de conexão entre a engenharia de BPS e TVD e questionam: Qual seria a TVD mais adequada para ser adotada em ferramentas de BPS para dar suporte ao desenho orientado por dados? Em comparação entre as duas técnicas, a técnica de Coordenadas Paralelas se demonstrou a mais promissora (**Figura 5**). Este achado corrobora com as recomendações de tipo de gráfico por tipo de análise de (FEW, 2009), que indicam o uso de gráficos de coordenadas paralelas para visualização de análises multivariadas.

Figura 5 - Comparação entre técnicas de visualização de dados para conjuntos de dados de Simulação de Desempenho de Edifícios, com base no atendimento de 8 requisitos.

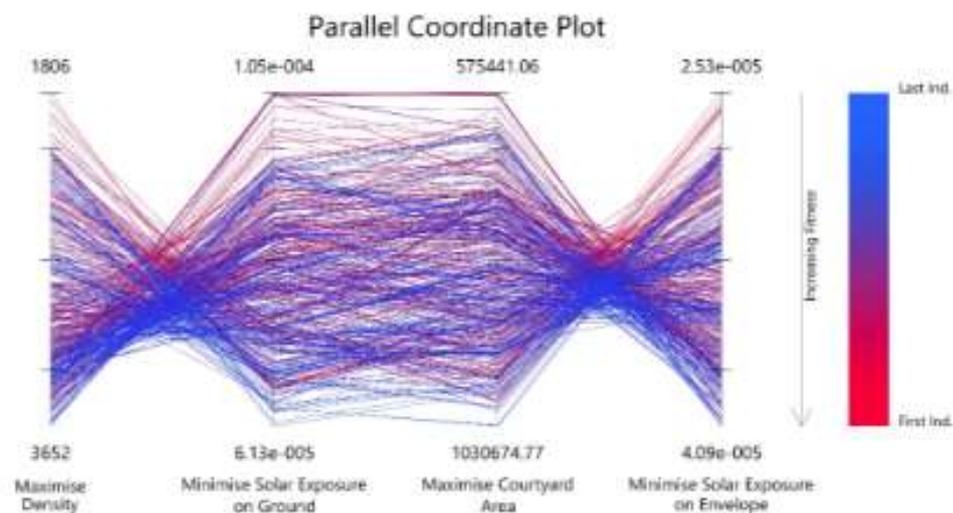
	Parallel Coordinates 	Parallel Sets 	Scatterplot Matrix 	Decision Tree 	Dendrogram 	Force Directed 
Requirements	(Davies 2017a)	(Davies 2017b)	(Bostock 2017a)	(Schumacher 2017)	(Bostock 2017b)	(Bostock 2017c)
R1 Size <100k	+	+	+	+	-	-
R3. Data type	+	∅	-	+	+	+
R4 Overview	+	+	-	-	-	-
R5 Impact	-	-	-	+	-	-
R2-6 Similarity	-	-	+	-	-	-
R7 Frequency	+	+	-	-	-	-
R8 Filtering	+	+	+	-	-	-
Score (points)	12	9	10	10	8	8

Fonte: Jusselme, Tuor *et al.* (2017).

Diversas ferramentas de visualização e otimizadores disponíveis atualmente, utilizam este tipo de gráfico, como demonstrado nas **Figuras 6 e 7**.

Figura 6 – Octopus: Plugin de otimização do Rhinoceros

Fonte: <https://www.food4rhino.com/en/app/octopus>

Figura 7 – Wallacei: Plugin de otimização do Rhinoceros

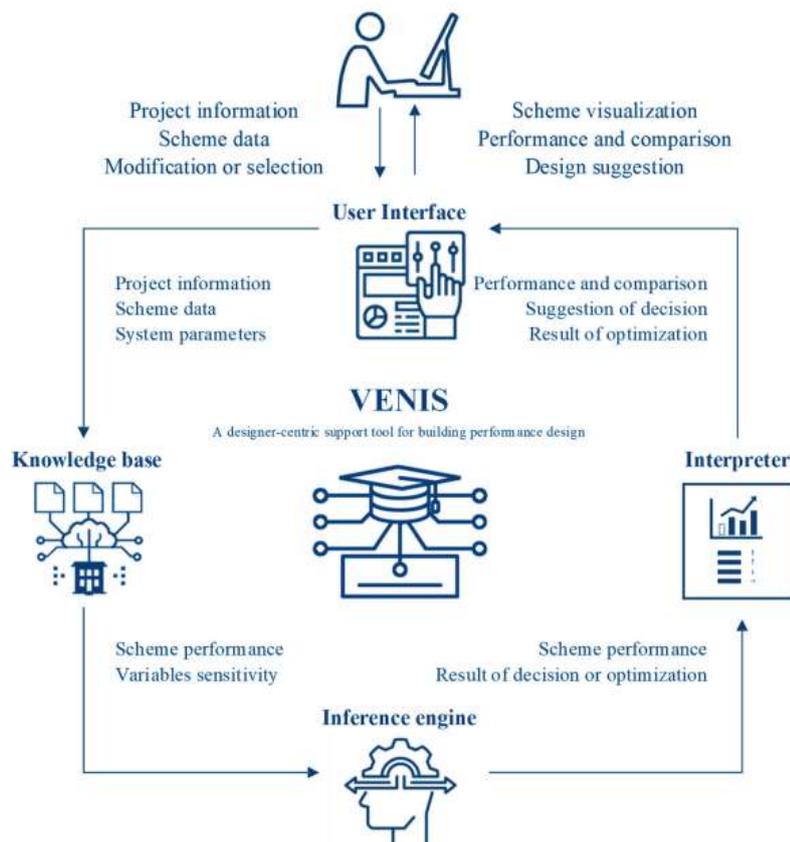
Fonte: <https://www.food4rhino.com/en/app/wallacei>

Enquanto se avolumam estudos em integração de ferramentas e métodos BIM, ferramentas de simulação e otimizadores, ainda é limitado o exame da capacidade de visualização e documentação (CHANG e HSIEH, 2020). Para tratar da complexidade de projetos orientados ao desempenho, pesquisas se concentram predominantemente na capacidade de ferramentas BIM de integrar dados e análises de simulações (HABIBI, 2017), (YING e LEE, 2021b), (BRACHT, MELO e LAMBERTS, 2021) e em ferramentas de otimização multiobjetivo

(LU, WU, *et al.*, 2022), (LI, ZHANG, *et al.*, 2022), (BAGHOOLIZADEH, ROSTAMZADEH-RENANI, *et al.*, 2023).

Para o pleno atendimento de demandas de Integração de Processos e Otimização de Desenho, requisitos de interoperabilidade de componentes, automação, parametrização, documentação e programação ainda precisam de melhorias (DÍAZ, ALARCÓN, *et al.*, 2017). As limitações também são destacadas em relação ao uso de ferramentas de otimização existentes para lidar com questões complexas e suporte ao projeto orientado ao desempenho: em relação ao potencial de interpretação de suas soluções, a participação dos arquitetos e a capacidade de desenvolvimento de estruturas de programação (LI, HAN, *et al.*, 2023). Estes autores desenvolveram uma ferramenta chamada Venis (**Figura 8**), a qual permite a integração das intenções dos arquitetos oferecendo suporte ao processo de tomada de decisão de forma interativa e otimização automática.

Figura 8 - Estrutura da Venis: uma ferramenta de suporte ao desenho de edifícios orientado ao desempenho centrada no designer



Fonte: Li, Han, *et al.* (2023)

A apresentação gráfica de dados e informações deve ser realizada de forma efetiva para auxiliar tomadores de decisão a obterem insights de qualidade, por meio da identificação de relações e padrões de comportamento dos dados. Few (2009) conta que a história conhecida do desenvolvimento de técnicas de visualização de dados se inicia em 2500 ac, mas se intensificou no século XX, especialmente quando em 1977, John Turkey publica seu livro “Análise Exploratória de Dados”, o qual destaca definitivamente o poder da visualização como meio para explorar e dar sentido a dados quantitativos (FEW, 2009).

Muitos autores se destacam, mais recentemente, por se dedicarem à sistematização das técnicas de visualização de dados (TUFTE, 2001), (FEW, 2009), (CAIRO, 2012), (FEW, 2012), (MEIRELLES, 2013).

O problema da eficiência da visualização de dados para geração de informações relevantes para o processo de projeto, é amplamente reconhecido e pesquisado sob diversos aspectos. Pesquisas são conduzidas sobre a matéria, as quais investigam a aplicação de técnicas de visualização para apoio ao processo de análise de desempenho de edifícios (PILGRIM, 2003), para análise de conjuntos de dados heterogêneos e multidimensionais obtidos por meio de simulações de edifícios (JUSSELME, TUOR, *et al.*, 2017), estudos comparativos entre técnicas aplicadas ao desenho e à simulação de edifícios (SRIVASTAV, LANNON, *et al.*, 2009) e aplicações específicas como gerenciamento de fluxo e custo de energia em operações de edifícios (ABDELALIM, O'BRIEN e SHI, 2017).

Para superar a dificuldade de compreensão de dados pela equipe de projeto, técnicas de visualização são apontadas como método bem estabelecido para comunicar grandes conjuntos de dados em processos de Avaliação Pós-Ocupação (PATLAKAS, KORONAIOS, *et al.*, 2017). Dondeti e Reinhart (2011) desenvolveram um sistema de organização e visualização de dados de simulação de desempenho de edifícios com o objetivo de permitir a extração de informações chave de simulação com base em projetos e variáveis diversos

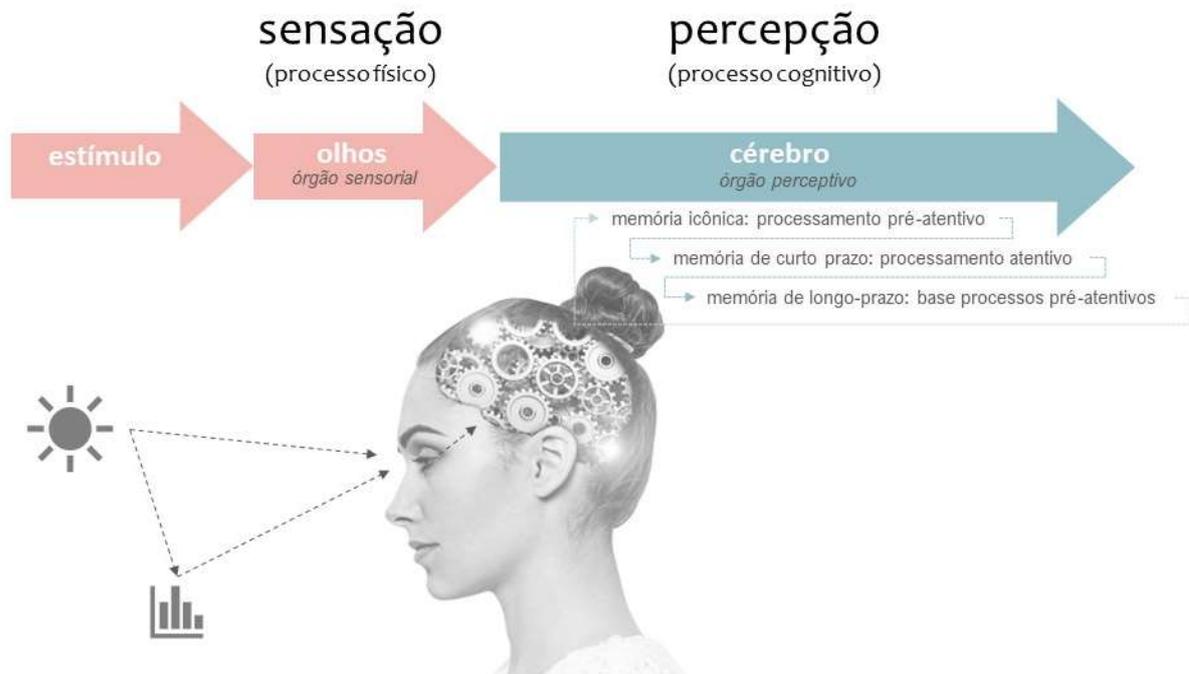
Embora estejam disponíveis ferramentas que permitem a sistematização e visualização de dados, para aplicação em qualquer área que demande processos de análise de dados, tais como Excel e Power BI da Microsoft, Tableau, e outras, é necessário nos concentrarmos nas habilidades humanas necessárias para dar sentido aos dados. O cérebro humano é a principal ferramenta que confere significado e utilidade para informações, enquanto programas e

ferramentas de sistematização e visualização de dados devem ser utilizados de forma a aproveitar nossas capacidades visuais e aumentar nossa cognição (FEW, 2009).

Ver, pensar, compreender e decidir

Few (2012) reuniu regras para a representação gráfica de informações quantitativas a partir de dados com base em ampla pesquisa acadêmica e prática na área de Visualização de Dados. Algumas destas regras foram selecionadas e adotadas como base para o desenvolvimento da ferramenta P-balance, proposta nesta tese. **Proporcionar uma percepção rápida de informações significativas** foi o principal critério definido para a seleção das regras aplicáveis ao desenvolvimento de uma ferramenta de visualização simultânea de indicadores de desempenho de edifícios.

Ainda segundo o mesmo autor, a capacidade de nosso corpo de perceber o mundo à nossa volta está 70% associada à visão, aproximadamente. Existe uma relação íntima entre ver, pensar e compreender. O poder de gráficos em comunicar de forma efetiva está relacionado à capacidade destes elementos de explorar nossas potências visuais. Nosso processo visual completo, compreende a captação de estímulos pelos olhos até os processos de formação da imagem, retenção de informação e processamento cognitivo, que ocorrem no cérebro (**Figura 9**).

Figura 9 – Fluxo Esquemático da Percepção e Processamento de informações visuais

Fonte: Elaborado pela autora (2023). Adaptado de Few (2012)

No cérebro, três tipos de memórias participam do processamento de informações visuais:

- **Memória Icônica:** os estímulos recebidos pelos olhos são enviados para a memória icônica, que registra cada entrada antes de seguir para a Memória de Curto Prazo¹⁵. Esta é uma parte automática e inconsciente do processo de percepção, que também é extremamente rápida – menos do que 1 segundo. Este processo é designado como Pré-atentivo: um processo de reconhecimento de vários atributos como cores, formas e localização 2-D, de forma extremamente rápida. O uso de atributos pré-atentivos é o que define o nível de atenção que uma informação recebe no processamento visual, quando aplicado em contraste aos elementos do contexto de apresentação da informação. Por exemplo, **palavras destacadas em vermelho** em meio a um texto escrito

¹⁵ No original em Inglês da referência adotada – Few (2012), esta memória é chamada “*Working Memory*”, ou Memória de Trabalho.

em preto. A aplicação de um mesmo atributo pré-atentivo a um conjunto de elementos, permite sua percepção como um grupo.

- **Memória de Curto Prazo:** blocos de informação visual significativas são formados em um processo atento, consciente, que ocorre na memória de curto prazo. É um processo temporário e rápido, podendo durar poucos segundos ou poucas horas, se a informação for periodicamente acessada. O acesso repetido, realizado de forma adequada, permite armazenar a informação na memória de longo prazo, para acesso futuro. A capacidade de armazenamento de blocos de informação nesta parte do processo também é limitada: apenas 3 ou 4 blocos de informação são armazenados por vez, de modo que para o processamento de novos blocos, as informações ou se movem para a memória de longo-prazo ou são esquecidas. Os blocos de informação podem variar em tamanho, de modo que é possível facilitar o acesso a um conjunto de dados com múltiplos valores, se estas forem agrupadas por padrões coerentes. Esta é razão pela qual gráficos podem comunicar muitas informações de uma vez, enquanto tabelas são limitadas ao exame individual de valores.
- **Memória de Longo Prazo:** Para que a informação seja armazenada na Memória de longo prazo é acionada uma intrincada rede neural que realiza associações com outras informações armazenadas. Esta parte do processo pode ser consciente ou não, e é fundamental na definição de nossa capacidade de reconhecer imagens e padrões significativos. No entanto, não é necessário um entendimento aprofundado para melhorar o design de gráficos.

O **Quadro 6** a seguir resume e permite uma percepção rápida das características e particularidades do processamento da informação visual por cada tipo de memória apresentados acima.

Quadro 6 – Resumo das Características dos tipos de Memória participantes do processo de percepção visual

Características	Memória Icônica	Memória de curto-prazo	Memória de longo-prazo
	<i>Iconic Memory</i>	<i>Working Memory</i>	<i>Long-term Memory</i>
Parte do processo	Recebe estímulos captados pelos olhos	Recebe informações visuais da Memória Icônica	Recebe e armazena informações da Memória de curto-prazo
Responsável por	Registrar informações visuais antes de enviar para Memória de Curto-Prazo	Gerar blocos de de informação visual significativas	Armazenar informação para acesso futuro; depende de uma intrincada rede neural que faz relações entre informações já armazenadas; fundamental para nossa capacidade de reconhecer padrões significativos
Duração	Extremamente rápido - menos que 1 segundo	Rápido, mas temporário - de poucos segundos à algumas horas, se a informação for periodicamente acessada	Lento - depende de repetir o acesso à informação várias vezes
Tipo de Processamento de Informação	Inconsciente Automático Pré-atentivo	Consciente Esforço cognitivo Atentivo	Consciente ou não
Limites	Ver Quadro 11 - Limites de atributos pré-atentivos	3 ou 4 blocos de informação são armazenados por vez; blocos de informação variáveis	Não estabelecidos

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

Com base no conhecimento das capacidades humanas de percepção visual, conclui-se que para o desenvolvimento de gráficos e informações visuais eficientes, o *designer* deve focar em:

1. Como utilizar atributos pré-atentivos para direcionar a atenção de leitores e,
2. Como trabalhar com os limites da memória de curto-prazo.

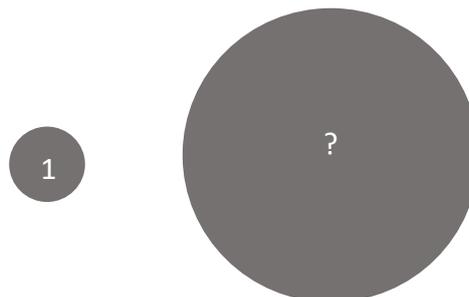
O **Quadro 7** abaixo relaciona os tipos de atributos pré-atentivos que podem ser adotados na elaboração de gráficos, indicando seu potencial de serem percebidos quantitativamente. Alguns atributos não são percebidos quantitativamente, mas sim como categorias, como é o caso de Cores e Formas. O uso de Comprimento e Posição 2-D devem ser priorizados para representar quantidades.

Quadro 7 - Atributos de Processamento Pré-atentivo

Tipo	Atributo	Percebidos Quantitativamente?
Forma	Comprimento	Sim
	Espessura	Sim, mas limitado
	Orientação	Não
	Tamanho	Sim, mas limitado
	Forma	Não
	Borda	Não
Cor	Matiz	Não
	Intensidade	Sim, mas limitado
Posição	Posição 2-D	Sim
Movimento ¹⁶	Direção	Não

Fonte: Few (2012); Few (2009)

A percepção de quantidade com o uso de espessura, tamanho e cores, é limitada. Isso se deve ao fato de que esta percepção depende de nossa capacidade de associar uma área ao elemento, tal como uma fatia de um gráfico pizza ou espessura de barras. Embora possamos perceber que um elemento mais espesso possui área maior, não conseguimos precisar o quanto. Few (2012) dá um exemplo muito ilustrativo, com base em uma dinâmica utilizada por este autor com seus alunos, em salas de aula com mais de 70 pessoas. Quanto maior é a área do círculo maior em relação ao menor, na figura abaixo?



A resposta correta é 16¹⁷, enquanto as respostas de alunos ficam entre 5 e 50. Acertar esta resposta indica uma capacidade notável e incomum.

¹⁶ Estes atributos foram organizados originalmente por Collin Ware (2004) e adotado por Stephen Few (2012), que retirou a categoria de movimento, que fazia parte do original, uma vez que o foco do livro no qual este último autor apresenta estes atributos são tabelas e gráficos estáticos. A ferramenta P-balance desenvolvida nesta tese conta com a categoria de movimento, por essa razão, o atributo é mantido no Quadro 10.

¹⁷ Esta relação é a indicada na fonte. A representação dos círculos neste texto é meramente ilustrativa.

A intensidade de cor apresenta problema similar: em uma escala que vai do cinza claro ao preto, é possível dizer que uma cor mais intensa representa um valor relativo maior, mas não precisamente quanto maior.

O **Quadro 8** a seguir apresenta um resumo de regras básicas a serem observadas na elaboração de gráficos para otimizar o processo de visualização, análise e comunicação de dados quantitativos. As regras apresentadas são aquelas selecionadas para aplicação no desenvolvimento de visualizações eficientes para avaliações de desempenho de edifícios.

Quadro 8 – Resumo: Aspectos e Regras de Visualização de Dados

Aspectos	Descrição (O quê?)	Regra de Visualização (Como?)
Tabelas Vs. Gráficos	Tabelas são utilizadas quando a análise demanda atenção a um valor individual. A análise de tabelas não são processos tão rápidos, demandando atenção e foco conscientes. Gráficos possibilitam a comunicação de múltiplos valores simultaneamente e de forma rápida, quando são agregados por regras pré-atentivas.	Definir entre o uso de tabelas ou gráficos de forma a atender o objetivo de análise e comunicação
Números	<p>O uso de números para comunicar informações quantitativas deve seguir um processo criterioso para seleção de sua forma de apresentação, com base no que se pretende comunicar.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Histórias quantitativas incluem dois tipos de valores numéricos: <ul style="list-style-type: none"> - Quantitativo - Categórico • Histórias quantitativas sempre configuram relações. Estas relações envolvem: <ul style="list-style-type: none"> - Simples associações entre valores quantitativos e itens categóricos ou - Associações mais complexas entre múltiplos conjuntos de valores quantitativos •Há 4 tipos de relações entre itens categóricos: <ul style="list-style-type: none"> - Nominal - Ordinal - Intervalo - Hierárquico •Há três tipos de relações entre valores quantitativos <ul style="list-style-type: none"> - Ranking - Proporção - Correlação 	Definir a forma de se apresentar os números de forma coerente com o objetivo da análise / comunicação.
Estatística	<p>Estatística proporciona diversas maneiras de resumir, agregar dados. Frequentemente, sua mensagem é melhor comunicada reduzindo grande conjuntos de dados em poucos números, permitindo aos leitores compreender e assimilar a história rapidamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Média: representa o valor central de um conjunto de dados. É calculada somando todos os valores do conjunto e dividindo pelo número total de valores; •Mediana: um valor ou ponto que divide um conjunto de dados numéricos em duas partes aproximadamente iguais; •Variação ou amplitude: simples de calcular baseado inteiramente nos valores mais altos e mais baixos mas define grosseiramente um intervalo de valores; •Desvio padrão: proporciona uma rica expressão de distribuição - grau de dispersão - de um conjunto de valores ao longo de um intervalo inteiro; •Coeficiente de correlação linear: Indica quando existe uma correlação linear entre 2 conjuntos de valores e, se existir, a sua direção positiva ou negativa e sua força, fraco ou forte; •Taxa ou percentual: mede a relação direta entre 2 quantidades de valores. 	Definir indicadores estatísticos de forma coerente com o objetivo da análise / comunicação, quando objetivo é resumir dados quantitativos numéricos

Quadro 8 - Resumo: Aspectos e Regras de Visualização de Dados (continuação)

Aspectos	Descrição (O quê?)	Regra de Visualização (Como?)
Tipos de gráficos por tipo de análise	Há uma extensa base de conhecimento que relaciona o tipo de análise (p.e. tendências, ciclos, variabilidade, padrões e exceções, co-variância) com o tipo de gráfico que melhor se adequa à análise.	Para análises multiobjetivo (ou multidimensional), que demandam a visualização de múltiplos dados simultaneamente, são recomendados: o gráfico de coordenadas paralelas ou, com menor efeito, mapa de calor.
Atributos Pré-atentivos	Os atributos pré-atentivos devem ser utilizados para possibilitar o processamento rápido de informações quantitativas. Associando valores a tais atributos visuais, o leitor tem a capacidade de analisar um conjunto com muitos valores, de forma significativa e rápida. Ver <i>Quadro 7</i> com a lista de atributos e seu potencial de serem percebidos como informação quantitativa.	Para comunicar informações quantitativas, os dados devem ser preferencialmente codificados em comprimento, ou posição 2-D.
Contexto	Os efeitos do contexto da informação apresentada devem ser observados de forma a não distorcer a percepção quantitativa pretendida. Exemplos de estratégias que prejudicam a correta percepção da informação: <ul style="list-style-type: none"> • Preenchimento de fundo de gráficos com gradientes de cor, • Efeitos de ilusão de óptica promovidos por associação de formas, • Baixo nível de contraste de textos 	O designer deve estar atento às combinações que não funcionam, para evitá-las.
Limites de Atributos	Pesquisas demonstraram que ao ler gráficos, não conseguimos distinguir mais do que cerca de 8 cores, quatro orientações, e 4 tamanhos diferentes. Todos os outros atributos devem ser limitados a poucas variações. Tendemos a alternar para o processamento atento, mais lento, quando o número de alternativas é excessivo e, nesse caso, apenas não mais do que 4 valores serão distintos e percebidos de cada vez.	<p>Atributos pré-atentivos: Observar e não superar os limites máximos de atributos abaixo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8 Cores • 4 Orientações • 4 tamanhos • Poucas variações para todos os demais atributos <p>Evitar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mais do que um atributo para um mesmo objeto por vez, por exemplo: diferentes cores e formas para pontos no gráfico; • cores devem ser escolhidas criteriosamente, considerando a capacidade de distinção entre elas e a intensidade. Maior intensidade e cores totalmente saturadas favorecem o destaque de objetos. <p>Blocos de Informações - processamento atento: 3 ou 4 blocos de cada vez.</p>
Princípios da Gestalt	Devem ser observados 6 princípios de visualização para que sejam adequadamente utilizados. Identificar o objetivo de visualização e verificar no <i>Quadro 9</i> quais princípios podem ser aplicados.	Em gráficos de coordenadas paralelas, adotar a linha cheia como conector entre pontos para que a informação seja percebida como um bloco. Não adotar linhas pontilhadas, pois elas indicam falta de continuidade e não agregação.
Gráficos ineficientes	Alguns gráficos não são ineficientes para representar quantidades, embora sejam amplamente utilizados.	Para comunicar informações quantitativas, não utilizar gráficos tipo radar, donut, pizza. O uso destes gráficos demanda o cálculo de área, descrito anteriormente, para comparar quantidades.

Fonte: Elaborado pela autora (2023) com base em Few (2009), Few (2012)

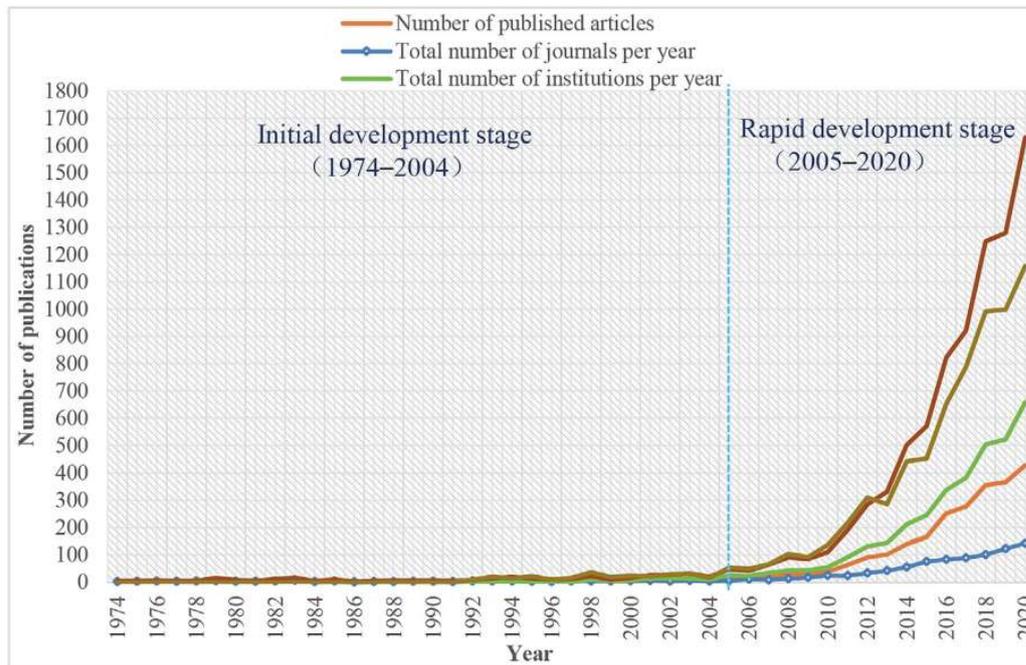
Quadro 9 – Princípios de Percepção Visual da Gestalt

Princípio	Descrição
Proximidade	Objetos que estão mais próximos são percebidos como um conjunto
Similaridade	Objetos que compartilham os mesmos atributos como cor ou forma, são percebidos como conjunto
Borda	Objeto que parecem ter um limite ao seu redor, como por exemplo uma borda ao seu redor com uma cor comum, são percebidos como conjunto
Borda aberta	Estruturas abertas são percebidas como fechadas, completas e regulares, sempre que for possível que elas sejam percebidas dessa forma
Continuidade	Objetos alinhados de forma sobreposta parecem ser uma continuação um do outro e são percebidos como conjunto
Conexão	Objetos conectados por uma linha por exemplo, são percebidos como conjunto

Fonte: Elaborado pela autora (2023) com base em Few (2012)

Além da capacidade de perceber a informação visual e lhe atribuir significado, o comportamento de decisão é outro fator humano que influencia a efetividade de ferramentas de apoio ao projeto orientado ao desempenho.

Li, Zhang, *et al.*, (2022) demonstram que as pesquisas em desempenho energético de edifícios entraram em crescimento acelerado a partir de 2005 (**Figura 10**) e que estão relacionadas principalmente à aspectos de transferência de calor pela envoltória, convecção térmica das superfícies do edifício, equipamentos internos e atividades humanas. Afirmam que poucas pesquisas são realizadas sobre a influência dos tomadores de decisão no âmbito da simulação de energia de edificações, o que é apontado como uma barreira para o desenvolvimento desta área de aplicação, destacando ser uma necessidade crucial estudar os mecanismos de influência das atitudes e comportamentos de decisão das partes interessadas.

Figura 10 – Distribuição de artigos, instituições e periódicos, adicionados por ano.¹⁸

Fonte: Li, Zhang, *et al.*, (2022)

Sobre a influência dos comportamentos de tomada de decisão em projetos de partes interessadas na incorporação de práticas de projeto orientado ao desempenho, aderentes ao que se observa na prática atual de consultorias, Mukherjee e Muga (2010) descrevem duas rotas: Tomada de decisão “de baixo para cima” e de “cima para baixo”.

- Tomada de decisão “de baixo para cima”: diferentes partes interessadas individuais - proprietários, arquitetos, engenheiros, empreiteiros, órgãos públicos e fornecedores de materiais – percebem os valores de tecnologias associadas ao desempenho de edifícios de formas diferentes e influenciam a adoção de estratégias, associadas ao nível social da indústria. Valores econômicos arraigados e forças do mercado local influenciam uma parte interessada individual. Logo, as forças sociais e de mercado influenciam a adoção

¹⁸ As linhas marrom escuro e marrom claro, representam número de autores e palavras-chave adicionadas por ano. No artigo original de referência, a legenda não apresenta a identificação destas duas linhas, o que não prejudica a compreensão da destacada nesta tese, quanto à demonstração do aumento expressivo de pesquisas na área em questão.

de práticas de projeto e com o tempo, a conformidade com padrões predominantes fortalece o comportamento dos envolvidos.

- Tomada de decisão “de cima para baixo”: o uso de ferramentas que quantifiquem o valor das alternativas de projeto tem a tendência de retirar as estratégias do contexto social, possibilitando ao tomador de decisão monitorar objetivamente o processo de seleção, na medida em que fornecem métricas quantificáveis. Estas ferramentas, reduzem o problema da tomada de decisão a uma escolha racional informada, na medida em que não incorporam a influência das forças socioeconômicas que determinam a dinâmica do processo de decisão “de baixo para cima” descrito acima.

Concluem que o processo de tomada de decisão baseado em informação – “de cima para baixo” - deve ser complementado pela consideração das influências socio-econômicas – “de baixo para cima” – para que se desenvolva uma compreensão abrangente da avaliação de valor das partes interessadas que conduzem à incorporação efetiva de práticas de projeto orientado ao desempenho.

Mlodinow (2012) destaca a tendência de nosso raciocínio de criar uma ilusão de objetividade. Muitas vezes, percebemo-nos como construtores de julgamentos de baixo para cima, começando com dados para chegar a uma conclusão. No entanto, na realidade, tomamos decisões de cima para baixo, começando com a nossa conclusão preferida e moldando a análise dos dados a partir dela. Observa-se que o que este autor denomina decisão de cima para baixo, é o que Mukherjee e Muga (2010) chamam de decisão de baixo para cima, e vice-versa. O fato é que existe uma concordância em relação às influências não objetivas no processo de tomada de decisão, mesmo quando dados objetivos estão disponíveis.

Esta tendência à subjetividade está relacionada à limitações de processamento cognitivo¹⁹ e propensão à decisões automáticas, simplificadas pela natureza dos processos mentais, baseados em vieses e heurísticas (KAHNEMAN, 2011). Nossa percepção da realidade é permeada por esquemas mentais, definidos como estruturas cognitivas que organizam nosso conhecimento preliminar acerca de conceitos, estímulos, pessoas e situações (FISKE e

¹⁹ Cognição: Capacidade de processar informações e transformá-las em conhecimento, com base em um conjunto de habilidades mentais e/ou cerebrais como a percepção, a atenção, a associação, a imaginação, o juízo, o raciocínio e a memória. (SIGNIFICADOS, 2020)

TAYLOR, 1991). Em geral, todos os estímulos e situações vivenciadas, são filtrados pelos nossos esquemas mentais os quais são responsáveis pelo julgamento que fazemos de situações e valores. Aspectos positivos deste processo mental ficam evidentes quando precisamos julgar situações e pessoas rapidamente, para evitar ou buscar soluções em situações de risco. Por outro lado, temos consequências negativas tais como preconceito e discriminação, como produtos de nossos processos de simplificação a partir de categorias, estereótipos e exemplares.

O reconhecimento destas influências no processo de decisão, torna o desenvolvimento de ferramentas que permitam uma visualização objetiva de dados de desempenho de edifícios, uma demanda essencial para uma implementação efetiva de abordagens integradas de projeto orientado ao desempenho. Tais ferramentas devem auxiliar consultores e especialistas a atuarem como “arquitetos de escolhas” como definido por Thaler e Sunstein (2019), oferecendo informações objetivas, organizadas de tal forma que ajude a equipe de projeto a tomar melhores decisões.

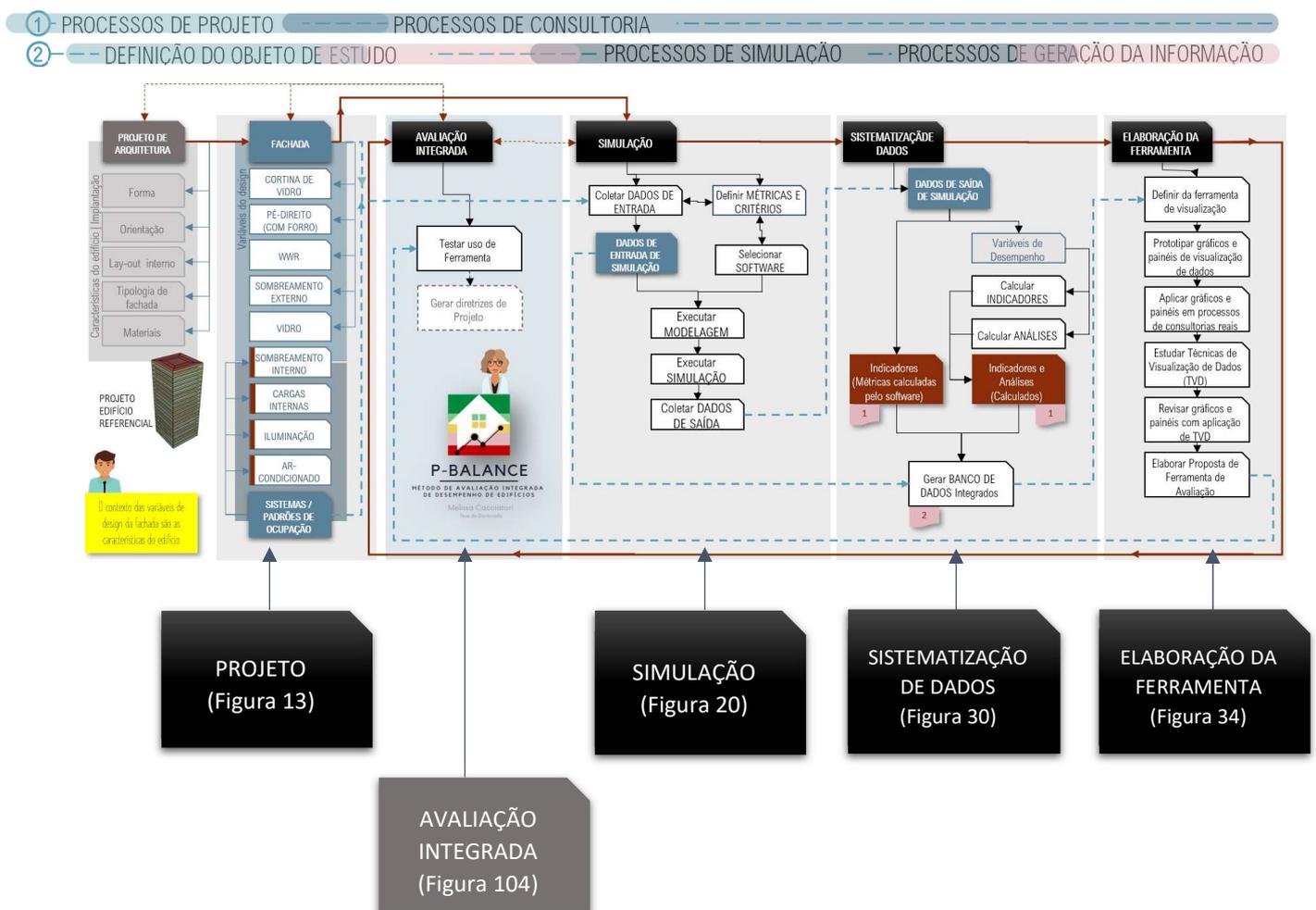
Esta revisão demonstra que as pesquisas na área de avaliação de desempenho estão baseadas em tecnologias como a inteligência artificial, design generativo e estudos paramétricos. Destaca-se que as ferramentas baseadas em tais tecnologias não possuem, necessariamente, as rotinas de visualização que permitem uma participação ativa dos tomadores de decisão e partes interessadas, não especialistas. Adicionalmente, ainda que as ferramentas levem em consideração os aspectos de visualização, as influências relacionadas ao comportamento de tomadores de decisão devem ser levadas em conta. Não há como afirmar que uma ferramenta é bem-sucedida, sem considerar o aspecto comportamental.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Neste capítulo são apresentados os métodos e as técnicas de desenvolvimento da Ferramenta P-Balance, ilustrado na **Figura 11** abaixo, que contempla 4 etapas:

1. Definição de características do Objeto de Estudo com base no Projeto Referencial de Arquitetura de Fachada (**Figura 13**)
2. Simulação Computacional para obtenção de Dados de Desempenho (**Figura 20**)
3. Sistematização de Dados para Geração de Banco de Dados Integrado (**Figura 30**)
4. Elaboração da Ferramenta de Visualização para apoio ao processo de Avaliação Integrada (**Figura 34**)

Figura 11 – Fluxograma com Etapas do Método



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Figura 12 – Legenda do Fluxograma com Etapas do Método

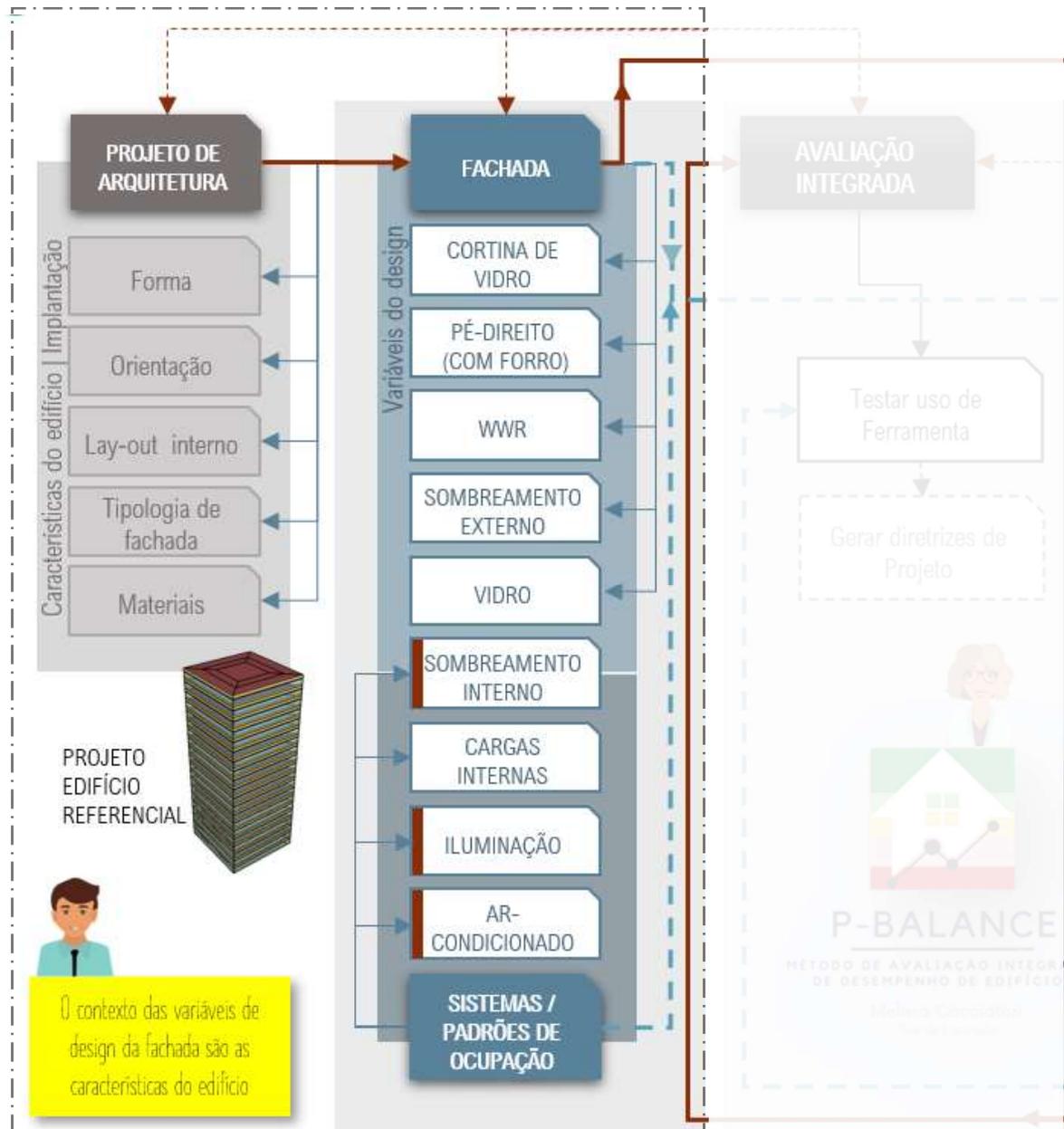
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No Fluxograma da **Figura 11** ainda é representada a Etapa 5 – Avaliação Integrada, com o objetivo de informar como esta se relaciona com os Processos de Projeto e Consultoria indicados na Linha 1, na parte superior da mesma figura. A Linha 2, apresenta uma decomposição dos Processos de Consultoria, em Processos de Simulação e Processos de Geração da Informação, bem como suas relações. A avaliação integrada faz parte do processo de geração da informação a ser considerada na tomada de decisão de projeto, por meio da análise de dados de desempenho, no contexto do projeto. No desenvolvimento desta tese a Etapa 5 – Avaliação Integrada (**Figura 104**) é destinada ao ensaio de aplicação e aferição da ferramenta, apresentada no Capítulo 5.

A seguir, cada etapa é apresentada em detalhe, com a descrição dos processos executados. O Capítulo 4 é dedicado à apresentação da ferramenta P-Balance, resultante da execução do método e aplicação das técnicas demonstradas neste capítulo.

3.1 Etapa 1: Definição do Objeto de Estudo

Figura 13 - Etapa 1 do Fluxograma do Método: Definição do Objeto de Estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Neste subcapítulo são apresentadas as características do objeto de estudo, resumidamente indicadas no fluxograma da **Figura 13** acima. O edifício referencial (**Figura 14**) proposto por Cacciatori (2016) foi adotado como objeto de estudo para o desenvolvimento

do banco de dados de desempenho (Etapa 3), utilizado para a elaboração da ferramenta P-Balance.

O desenvolvimento deste projeto referencial fez parte de uma pesquisa orientado ao mercado, o que demandou um grande alinhamento com o que era mais frequente na prática, em termos de decisões de projetos de edifícios comerciais e uso de materiais e sistemas. Assim, a coleta de dados de materiais e custos efetivamente disponíveis para emprego em projetos reais, foi estabelecida como uma premissa do estudo. Para a sua adoção nesta tese, como objeto de estudo, mantendo a premissa de representar as características mais usuais de projetos reais, o projeto referencial de 2016 foi submetido a uma revisão criteriosa e algumas alterações foram realizadas:

- Alteração do WWR mínimo, de 30% para 40%;
- Atualização de especificações de vidros para compatibilização com novas tendências de arquitetura;
- Inclusão de persianas automatizadas e,
- Ajustes no sistema de iluminação artificial, incluindo dimerização do sistema periférico.

As variações de características do objeto de estudo constituem a base das variações paramétricas simuladas para a geração do banco de dados de desempenho. As seções a seguir apresentam os detalhes do objeto de estudo revisado.

3.1.1 Arquitetura

O projeto referencial possui arquitetura característica de edifícios de escritórios de alto padrão do mercado imobiliário recente, com tipologia de fachada, sistemas construtivos e materiais mais frequentemente utilizados em lançamentos imobiliários deste segmento, a partir de 2015, na cidade de São Paulo, Brasil.

Em resumo, as principais características da arquitetura, ilustradas na **Figura 14**, são:

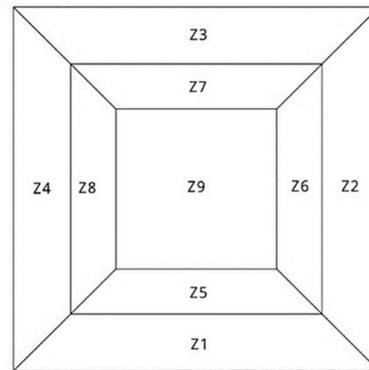
- Pavimento tipo quadrado, com *core* central e área de 1024 m² - nesta tese, adotou-se a denominação de 1000 m²;
- 9 Zonas Térmicas: 8 zonas climatizadas: 4 zonas periféricas e 4 zonas mais centrais; 1 zona central, sem climatização, referente ao *core*;

- Fachada tipo cortina de vidro, com viga de borda em concreto e peitoril interno em *dry-wall*.

Figura 14 – Edifício Referencial de Escritórios: Planta com indicação de medidas (14-A), planta com indicação de zoneamento para simulação (14-B), Perspectiva do modelo – saída do Sketchup (14-C), Corte esquemático da fachada - pavimento tipo (14-D)



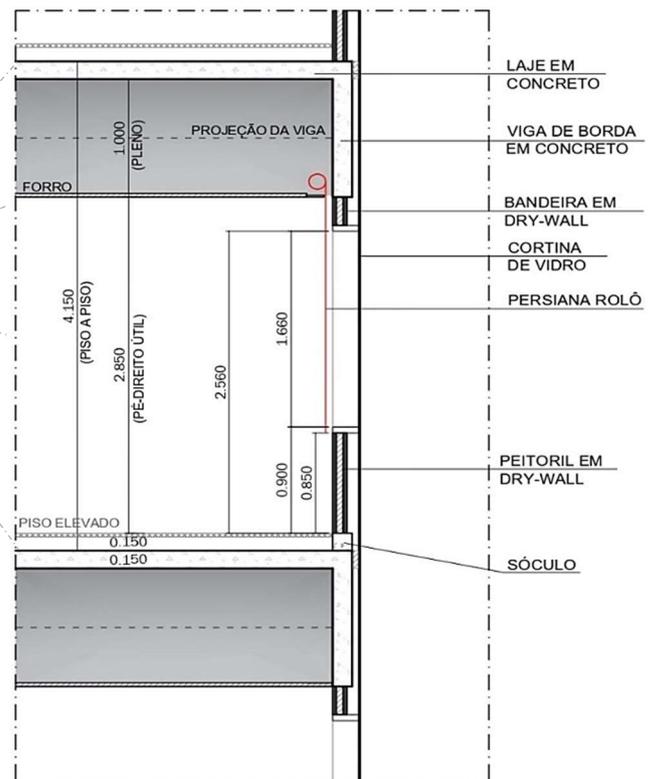
14-A PLANTA PAVIMENTO TIPO 1000m²
SEM ESCALA



14-B ZONEAMENTO TÉRMICO PARA SIMULAÇÃO
SEM ESCALA



14-C PERSPECTIVA
SEM ESCALA



14-D CORTE ESQUEMÁTICO – WWR 40% (W40), SEM BRISES (SB)
SEM ESCALA

Fonte: Cacciatori (2019)

Na **Tabela 1** a seguir, as condições: fixo ou variável, foram atribuídas aos parâmetros para identificar quando estes foram variados na simulação paramétrica. As características básicas de vidros e persianas são apresentadas nas **Tabelas 2 e 3** e os detalhes esquemáticos indicativos das variações de WWR e Brises, na **Figura 17**. O **Quadro 11** apresenta um resumo dos parâmetros variáveis: WWR, tipos de vidro, protetores solares externos (brises) e internos (persianas). Nesta tese, o objeto de estudo e suas variações paramétricas serão designados simplesmente como modelos.

Tabela 1 - Resumo de dados de entrada do modelo: Clima, Orientação, Geometria, Cargas Internas, Sistema de Ar-Condicionado

Condição	Características / Parâmetros do modelo	Unidade	MODELO PROPOSTO
FIXO	Clima / Arquivo climático		São Paulo / BRA_SP_Sao.Paulo- Congonhas.AP.837800_TMYx.2004-2018
FIXO	Edifício / Tipologia de Referência	-	Edifício Comercial
FIXO	Número de pavimentos	un	20
FIXO	Orientação	-	Norte
FIXO	Área Pavimento tipo	(m ²)	1.024
FIXO	Área Climatizada Pavimento tipo	(m ²)	819,51
FIXO	Área Total	(m ²)	20.480
FIXO	Área Climatizada Total	(m ²)	16.390,20
FIXO	Área Total de Fachada	(m ²)	10.624
FIXO	Volume de Pavimento Tipo	(m ³)	4.249,60
FIXO	Altura de laje a laje	(m)	4,15
FIXO	Pé-direito útil	(m)	2,85
FIXO	Paredes externas	-	Vidro + peitoril interno em dry-wall / Vidro + vigas de borda em concreto
FIXO	Paredes internas	-	Dry-wall
FIXO	Lajes entre pisos	-	Concreto
FIXO	Forro	-	Gesso
FIXO	Cobertura	-	Laje de concreto impermeabilizada, com isolamento térmico
FIXO	Revestimento da Fachada		Cortina de vidro
VARIÁVEL	WWR	(%)	ver Figura 13
VARIÁVEL	Brises	-	ver Figura 13
VARIÁVEL	Vidros	-	ver Tabela 2
VARIÁVEL	Persianas	-	ver Tabela 3
FIXO	Persianas - Setpoint de acionamento	(W/m ²)	141 (Ver Anexo B)

Tabela 1 – Continuação: Resumo de dados de entrada do modelo: Clima, Orientação, Geometria, Cargas Internas, Sistema de Ar-Condicionado

Condição	Características / Parâmetros do modelo	Unidade	MODELO PROPOSTO
FIXO	Densidade de Ocupação	(m ² /pessoas)	7
FIXO	Densidade de potência de iluminação	(W/m ²)	7
FIXO	Densidade de potência de equipamentos	(W/m ²)	16,2
FIXO	Densidade de potência interna total	(W/m ²)	40,3
FIXO	Ar Condicionado - Tipologia	-	Sistema Central de Ar-condicionado - Chiller parafuso com condensação a água - Sistema de bombeamento: circuito primário constante com secundário variável (ASHRAE 90.1-2010)
FIXO	Ar Condicionado - Setpoint de temperatura para Aquecimento	(°C)	20
FIXO	Ar Condicionado - Setpoint de temperatura para Resfriamento	(°C)	24
FIXO	Ar Condicionado - COP (W/W)	(W/W)	5,172
FIXO	Ar Condicionado - Capacidade do sistema	TR	618
FIXO	Ar Condicionado - Renovação de Ar	(m ³ /hora/pessoa)	27
FIXO	Controle de Iluminação	-	Dimerização da iluminação Geral das zonas periféricas (fração de dimerização: 0.78) - DPI 5.5 W/m ² , set-point 300 lux. Iluminação complementar de tarefa (1.5 W/m ²) não dimerizada

Fonte: Cacciatori (2019)

3.1.2 Vidros

Em atividades profissionais em consultorias de desempenho de fachadas, para projetos em andamento no mercado imobiliário de edifícios de escritórios entre 2020 e 2022, a autora observou uma tendência que estabelece uma premissa estética para a arquitetura, relacionada à especificação de vidros: arquitetos buscam vidros com aspecto mais transparente, com menos refletividade. Esta premissa estética favorece o aproveitamento de iluminação natural, pois os vidros com este aspecto possuem transmissão visível mais elevada. No entanto, o fator solar também é maior em relação a vidros mais refletivos, o que pode dificultar o atendimento de determinados níveis de eficiência energética e conforto térmico.

Tabela 2 – Caracterização simplificada dos vidros adotados no estudo paramétrico

ID Vidro	Descrição	Fator U (W/m ² .K) INVERNO	Fator Solar (SCGH) [%]	Transmissão Visível (Tvis) [%]
V27	Insulado Cool-Lite KS133 6mm #2 +(12mm Ar) Incolor 5mm + Incolor 5mm LOW-E (28mm)	1.758	27	33
V44	Laminado Cool-Lite ST136 6mm #2 + Incolor 8mm (14mm)	5.484	44	37
V61	Laminado Cool-Lite ST167 - 6mm #2 + Incolor 8mm (14mm)	5.486	61	67

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante: Cebrace (2021)

As alternativas de vidros indicadas na **Tabela 2** atendem algumas premissas frequentemente consideradas em simulações paramétricas realizadas em processos de consultoria em eficiência energética, iluminação natural e desempenho de fachada:

V27: Elevada resistência térmica e baixo fator solar, característicos de vidros insulados. Destaca-se que o valor referencial de fator solar, definido em 25% pela metodologia de avaliação de eficiência energética do Apêndice G da Norma ASHRAE 90.1-2010 (ASHRAE, 2010) e adotada pela certificação LEED, é uma forte influência para a avaliação desta alternativa de vidro em processos de consultoria. No entanto, esta tipologia de vidro não é usualmente adotada em especificações finais em projetos na cidade de São Paulo:

- Primeiramente, devido aos preços mais elevados em relação ao vidro laminado;
- A depender da característica dos vidros da composição e outras características de projeto – WWR, WFR, Profundidade da Planta - esta alternativa pode não favorecer um bom equilíbrio entre aproveitamento de iluminação natural e eficiência energética;
- Também pode não favorecer a eficiência energética em algumas aplicações, devido a elevada resistência do vidro, que reduz as trocas de calor durante a noite e o resfriamento passivo do edifício, quando a temperatura do ar externo é mais fria no caso do clima de São Paulo (CACCIATORI, 2016).

V44: Fator solar intermediário. Esta é uma tipologia de vidro frequentemente adotada em especificações finais, devido ao seu custo-benefício em relação ao atendimento de critérios de eficiência energética;

V61: Aspecto mais transparente, transmissão visível mais elevada, fator solar mais elevado. Devido ao fator solar mais elevado, esta tipologia de vidro demanda elementos de proteção solar, de modo indispensável para o atendimento de critérios de eficiência energética, na maioria dos casos. Além deste critério, o aproveitamento de iluminação natural pode ser favorecido em termos de distribuição e níveis de iluminância, embora seja maior o potencial de desconforto por ofuscamento e desconforto térmico, especialmente nas adjacências da fachada.

A comparação entre estas três alternativas de vidros é o mínimo atualmente praticado em consultorias de desempenho de fachadas e eficiência energética, quando há a premissa estética arquitetônica de fachada com maior transparência. É importante salientar que a descrição acima dos potenciais impactos em critérios de eficiência energética, aproveitamento de iluminação natural e conforto térmico, fazem parte do conhecimento previamente acumulado de consultores e analistas de desempenho. Arquitetos projetistas e outras partes interessadas, atuantes no processo de decisão de projeto de arquitetura, que já participaram de projetos avaliados por simulação, também acumulam este conhecimento prévio em algum nível, sobre o qual devem ser destacados dois aspectos:

1. Quando as simulações são realizadas para o atendimento de metodologias específicas, definidas por sistemas de certificação, o conhecimento adquirido é restrito aos critérios estabelecidos por tais metodologias. Logo, o que é frequentemente conhecido é o impacto de determinadas especificações de vidros em critérios isolados de eficiência energética e iluminação natural, sem uma integração e balanceamento objetivos entre tais critérios. Este conhecimento passa a integrar o conjunto de informações que serão adotadas em processos de decisão, para simplificação da escolha, uma vez que alguns resultados já são previamente esperados. Em última análise, este conhecimento pode configurar um viés de especialista (KAHNEMAN, 2011) para realizar julgamento e decisão. Esta decisão pode ocorrer antes mesmo da simulação, impedindo a avaliação objetiva de determinadas alternativas;
2. A premissa estética de transparência da fachada é um movimento recente das tendências de arquitetura, antes orientada para vidros com aspecto mais refletivo. O fato de ser recente, torna menos difundido o conhecimento acerca dos impactos

objetivos de elementos de proteção solar, estando limitado a poucos especialistas. A adoção de elementos de proteção solar externos ainda é fundamentalmente orientada por regras generalistas, tais como uso de elementos verticais em fachadas orientadas a Leste-Oeste, elementos horizontais em fachadas Norte-Sul. É usual que premissas essencialmente estéticas direcionem o dimensionamento destes elementos. No caso de persianas internas, os conceitos de que seu efeito não é significativo pois o calor já atingiu o interior do edifício, e que são elementos decorativos sem efeito no desempenho de fachadas, ainda são bastante frequentes. É comum que justificativas como estas estejam presentes em decisões de não se avaliarem as estratégias de proteção solar de forma adequada e objetiva.

3.1.3 Persianas

A avaliação de persianas não estava contemplada na arquitetura referencial definida por Cacciatori (2016), o que foi identificado como uma limitação do estudo. A instalação de persianas e cortinas para a ocupação de qualquer edificação destinada à atividades laborativas, é um fato. No entanto, não é frequente na prática atual de consultorias de eficiência energética e desempenho de fachadas, a seleção criteriosa e a avaliação do impacto em eficiência energética e conforto ambiental deste dispositivo de proteção solar interna.

Ao mesmo tempo, o tema segue como objeto de pesquisas (GOMES, SANTOS e CALHAU, 2022), (BAGHOOLIZADEH, ROSTAMZADEH-RENANI, *et al.*, 2023). A Norma IES-LM-83-12 (IES, 2012), que define uma metodologia e indicadores de aproveitamento de iluminação natural, reconhece a função das persianas, inserindo-as no método de simulação. O plugin de Simulação de Iluminação Natural adotado neste estudo – o Climate Studio – calcula uma saída direta chamada *ASE blinds*, adotada como indicador e descrita na seção 3.2.2.3, que demonstra o impacto das persianas na exposição solar anual, condição associada ao potencial de ofuscamento. O cálculo de correção de temperatura média radiante (MRT) devido ao efeito da radiação solar direta sobre o ocupante, descrito na Norma ASHRAE 55-2017 (ASHRAE, 2017), inclui a variação da transmissão solar total, que pode ser reduzida pelo uso de persianas, neutralizando este efeito. Para atendimento do critério de conforto térmico, quando é considerado o efeito da radiação solar direta sobre o ocupante, a temperatura média radiante resultante é mais elevada e deve ser compensada, quando possível, pela

redução da temperatura de *setpoint* de ar-condicionado e/ou velocidade do ar, medidas que levam a um maior consumo de energia.

A **Figura 15** a seguir demonstra o efeito da radiação solar direta sobre o ocupante e o impacto da redução da transmissão solar total sobre este efeito:

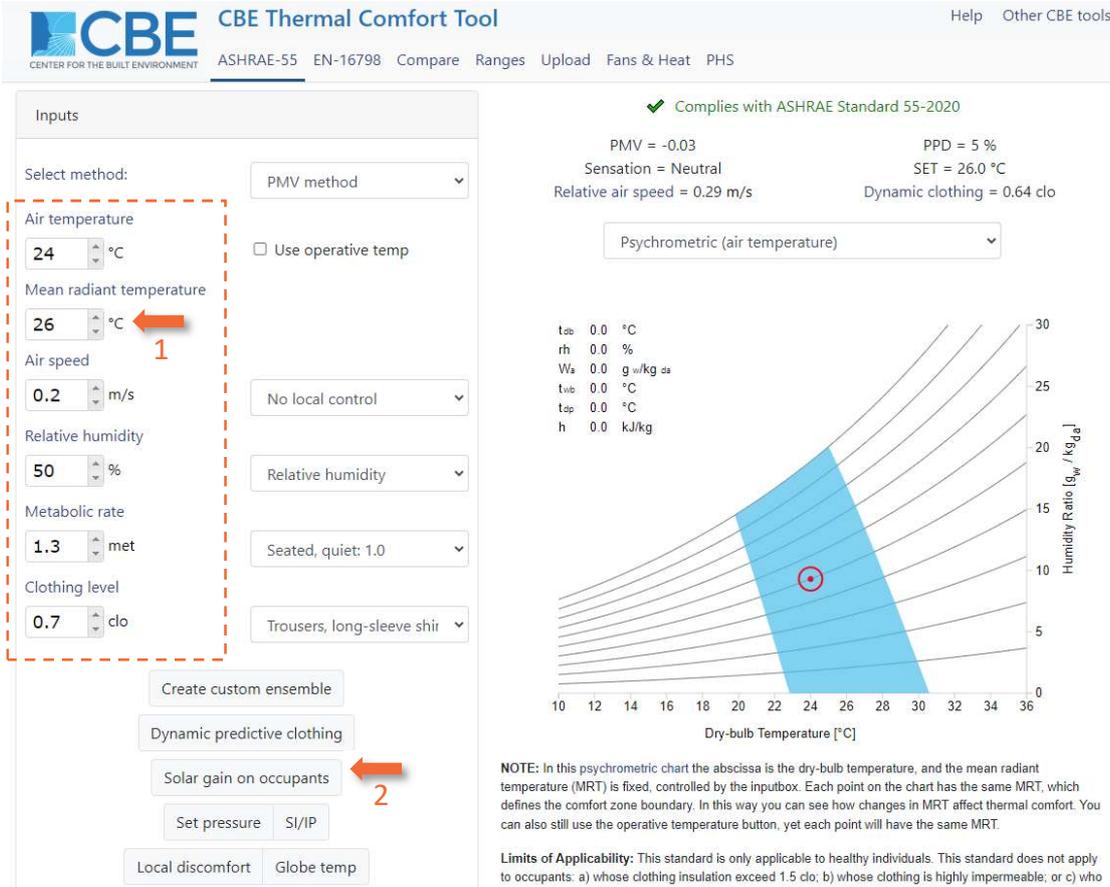
Figura 15A: Apresenta a condição inicial de cálculo do PMV-PPD, para uma MRT de 26°C, temperatura de *setpoint* do ar-condicionado em 24°C, e demais condições conforme indicadas na figura, nos campos da esquerda;

Figura 15B: Demonstra a correção da MRT para uma Transmissão Solar Total de 50%. Nesta condição, 9,7°C é somado à MRT, que passa a ser 35,7°C, demandando uma redução 2°C na temperatura de *setpoint* do ar-condicionado (22°C) para atendimento do critério PMV-PPD, o que tende a aumentar o consumo de energia com climatização;

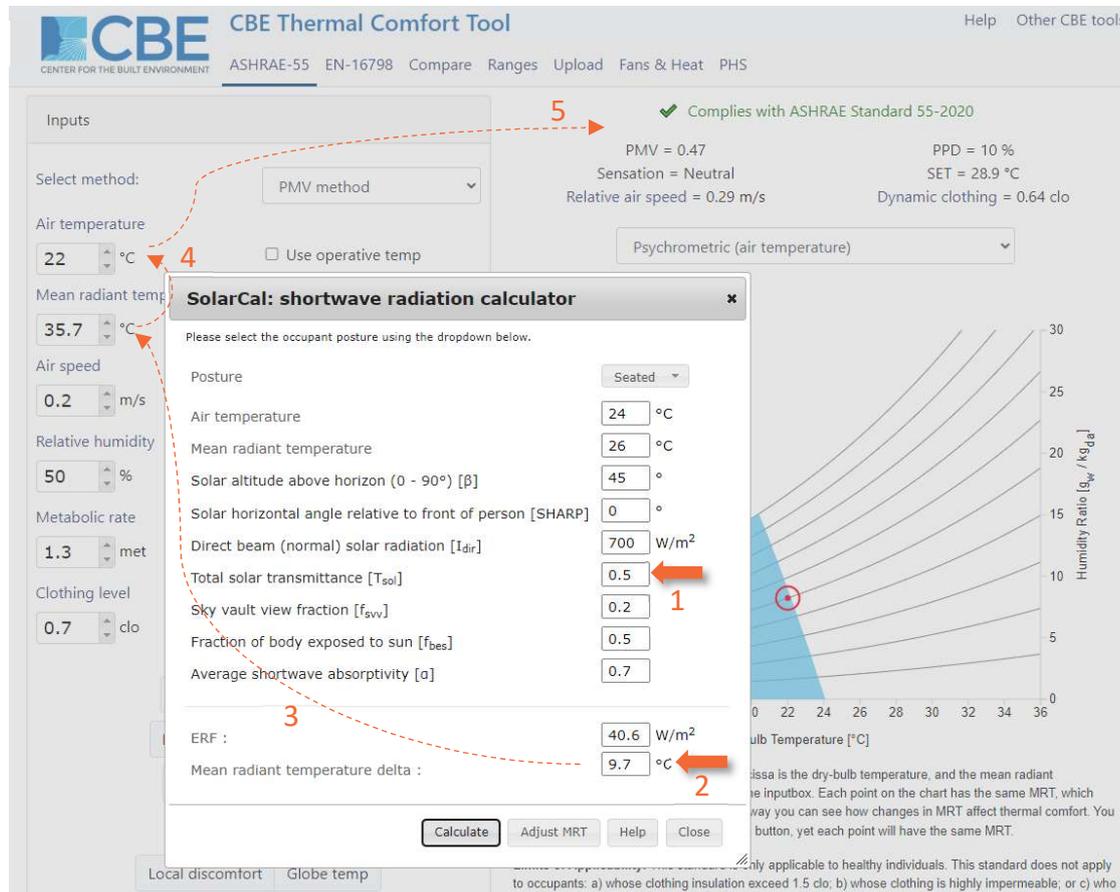
Figura 15C: Demonstra a correção da MRT para uma Transmissão Solar Total de 5%. Para esta condição de transmissão, foi considerada uma persiana com 10% de transmissão. Para este caso, apenas 1°C é somado à MRT, que passa a ser 27°C, permitindo a manutenção da temperatura inicial de *setpoint* do ar-condicionado (24°C) para atendimento do critério PMV-PPD.

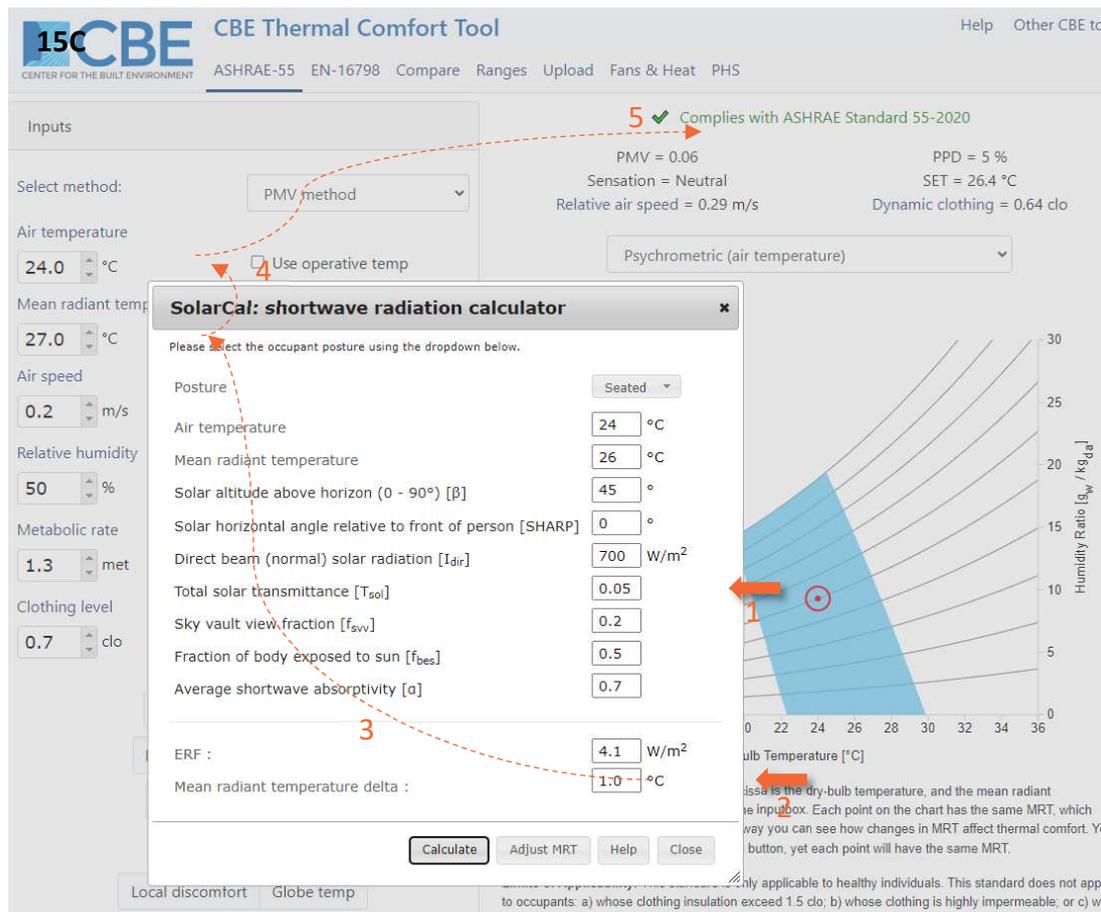
Figura 15 – Calculadora Térmica CBE – SolarCal: 15A. Sem correção da MRT; 15B. Transmissão Solar Total = 0,5; 15C. Transmissão Solar Total = 0,05

15A



15B





Fonte: (TARTARINI, SCHIAVON, *et al.*, 2020). Data do cálculo: 03.10.23

Este cálculo é pontual (não anual) e a ferramenta de simulação termo-energética anual adotada para o presente estudo – o EnergyPlus versão 9.5 - não incorporou o cálculo de correção da MRT acima ilustrado. No entanto, a demonstração é suficiente para a compreensão do impacto positivo da estratégia de sombreamento interno por meio de persianas, justificando sua consideração na avaliação de desempenho integrada em relação ao aspecto termo-energético.

Além do impacto da tipologia e de materiais do sistema de proteção solar interna, seu controle também deve ser avaliado, uma vez que são elementos passíveis de operação, a qual atribui um caráter dinâmico para as características de reflexão e transferência de calor da fachada. Fachadas dinâmicas – ou responsivas – que se adaptam às variações das condições climáticas, variáveis ambientais e demandas de ocupantes também têm sido objeto de pesquisas (MALLASI, 2018), (KIM e KIM, 2017). Uma alternativa disponível no mercado, que

representa uma oportunidade viável para atribuir qualidade responsiva às fachadas de edifícios de escritórios no Brasil é o sistema de controle automatizado de persianas.

As ferramentas de simulação disponíveis não estão totalmente adaptadas para simular fachadas dinâmicas, que podem demandar alterações de forma e propriedade dos materiais ao longo do período simulado (LOONEN, FAVOINO, *et al.*, 2017). No caso das persianas especificamente, os softwares de simulação como EnergyPlus possuem objetos de controle de persiana (**Anexo A**). Uma série de estudos sobre simulação de persianas automatizadas permitiram a identificação do objeto de controle nativo do EnergyPlus que melhor representa um sistema de automação de persianas disponível no mercado brasileiro (CACCIATORI e VALDIVIA, 2019b), (CACCIATORI e VALDIVIA, 2021).

A série de estudos sobre Persianas Automatizadas permitiram direcionar a modelagem e simulação destes elementos de forma criteriosa. O objeto de estudo adotado para esta série foi o mesmo projeto referencial considerado nesta tese, desenvolvido por Cacciatori (2016). O primeiro estudo da série contemplou:

1. O desenvolvimento de um controle customizado de persianas automatizadas que permite a operação gradual de persianas com base na posição solar e intensidade de iluminância externa na fachada, desenvolvido com o módulo *Energy Management System* (EMS) do EnergyPlus. Este controle customizado foi baseado no algoritmo de controle de um sistema de automação existente no mercado (**Apêndice I**). Este desenvolvimento foi inicialmente estabelecido pois não há alternativa de controle disponível no EnergyPlus que seja compatível com o controle de referência existente no mercado, o que poderia implicar em algum nível de imprecisão da simulação em relação a uma operação real, desconhecido até este desenvolvimento específico;
2. Disponibilização de orientações para adequada coleta e entrada de dados de tecidos utilizados em persianas tipo rolô na ferramenta de simulação. Durante o processo de desenvolvimento do estudo, identificou-se que os dados disponíveis fornecidos pelos fabricantes podem ser imprecisos e incompletos em relação aos dados de entrada demandados pelo software de simulação, o que se configura como um obstáculo adicional à avaliação criteriosa de persianas;

3. Disponibilização de orientações para adequada entrada de dados de vidros, uma vez que a simulação de persianas realiza cálculos de processos de transferência de calor com base nos dados do conjunto vidro-persiana. O **Apêndice II** apresenta o estudo compacto sobre entrada de dados de vidro, realizado neste estudo em referência;
4. Avaliação paramétrica com 24 combinações vidro-persianas, sendo 6 variações de vidros e 4 variações de persianas (tecidos) para verificar o impacto de persianas em eficiência energética;
5. Avaliação do potencial de pontuação LEED.

O segundo estudo contemplou dois conjuntos de análises comparativas:

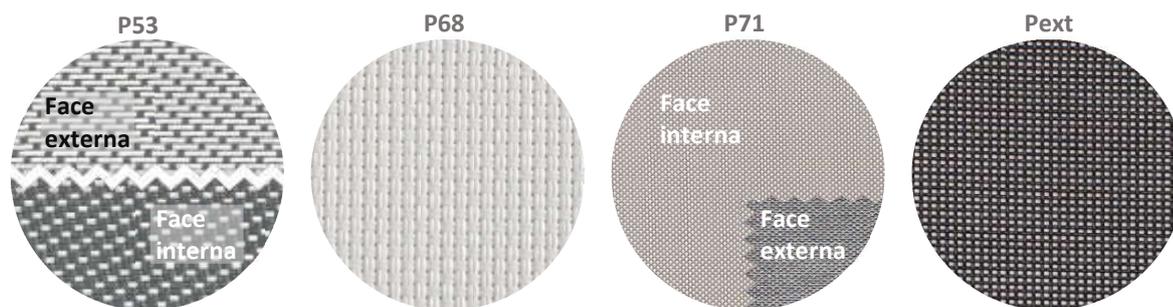
1. Comparação de resultados do estudo paramétrico com a variação de arquivos climáticos, identificando o impacto de arquivos climáticos mais recentes;
2. Comparação do controle customizado desenvolvido no primeiro estudo com um controle nativo do EnergyPlus. Esta análise permitiu concluir que o objeto de controle de persianas *OnIfHighSolarOnWindow* (**Anexos A e B**) existente no software permite uma seleção criteriosa do conjunto vidro-persiana, independente da constatação de variações dos níveis de consumo entre os dois controles. Esta conclusão foi baseada no fato de que o padrão de comportamento de consumo é orientado pelas propriedades do sistema vidro-persiana, e verifica-se um alinhamento das variações dos resultados de consumo entre as diferentes combinações nos dois tipos de controle comparados.

Com base em estudos de Cacciatori e Valdívía acima descritos e consultorias diversas realizadas entre 2020-2022 pela autora para avaliação de desempenho de fachadas com o uso de persianas, foram selecionadas 4 alternativas de tecidos, conforme **Tabela 3** e **Figura 16**.

Tabela 3 - Caracterização simplificada de tecidos adotados no estudo paramétrico

ID Persiana	Descrição	Transmi - tância Solar (Tsol) [%]	Reflexão Solar (Rsol) [%]	Transmissão Visível (Tvis) [%]	Reflexão Visível (Rvis) [%]
P53	P53-UNIFLEX-STYLE4903-V03-FACE-OF3	4	53	5	53
P68	P68-UNIFLEX-3031-THSCR-WHITE-OF3	20	68	16	79
P71	P71-UNIFLEX-673-Pearl-PLTSC-OF5	7	71	7	70
Pext	Pext-UNIFLEX-TEXTILENE-80 - BLACK	27	10	27	10

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante: Uniflex (2019)

Figura 16 – Padrões dos tecidos das persianas adotadas

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante: Uniflex (2019)

Nota: As escalas relativas entre as tramas dos tecidos na figura são meramente ilustrativas, não representando a relação real.

Os critérios adotados para seleção dos tecidos foram:

P53: Este é um tecido dupla-face, com uma cor mais clara (maior refletância) orientada para o exterior, e cor mais escura para o interior. Além da flexibilidade para a escolha de cores, a cor mais escura orientada para o interior reduz a transmissão difusa, o que promove maior conforto visual para os ocupantes. Do ponto de vista de desempenho térmico de persianas, quanto maior a reflexão externa, melhor.

P68: Este é um tecido branco, dos dois lados – interno e externo. É um tecido especificado com muita frequência nos projetos devido ao menor custo. Outro ponto positivo é sua elevada refletância externa. No entanto, o branco tem elevada transmissão difusa, o que

tende a causar ofuscamento interno, especialmente nos horários em que há incidência de radiação solar direta no tecido.

P71: Este tecido possui a face externa aluminizada, o que confere a maior refletância externa entre as opções selecionadas para o estudo, além de reduzir a emissividade, o que influencia a redução da temperatura radiante da janela, que está diretamente relacionada com o conforto na zona adjacente à fachada. Oferece o mesmo benefício que o P53, em termos de flexibilidade de seleção de cor interna para promover maior conforto visual, com transmissão visível ligeiramente maior, o que pode beneficiar o aproveitamento de iluminação natural quando a persiana está fechada.

Pext: A persiana externa na cor escura, funciona como um brise que permite a visualização do exterior, barrando a radiação antes de atingir a fachada, o que pode proporcionar um maior desempenho térmico e energético para a fachada.

Em resumo, exclusivamente em relação aos tecidos, quanto maior a reflexão solar, maior o potencial de impacto positivo em desempenho termo-energético e quanto maior a transmissão visível, maior o potencial de aproveitamento de iluminação natural. Ainda influenciam outros fatores, como emissividade, fator de abertura e posição de instalação, se interna ou externa, a relação entre estes fatores, a operação da persiana e a composição com o tipo de vidro.

3.1.4 WWR e Brises

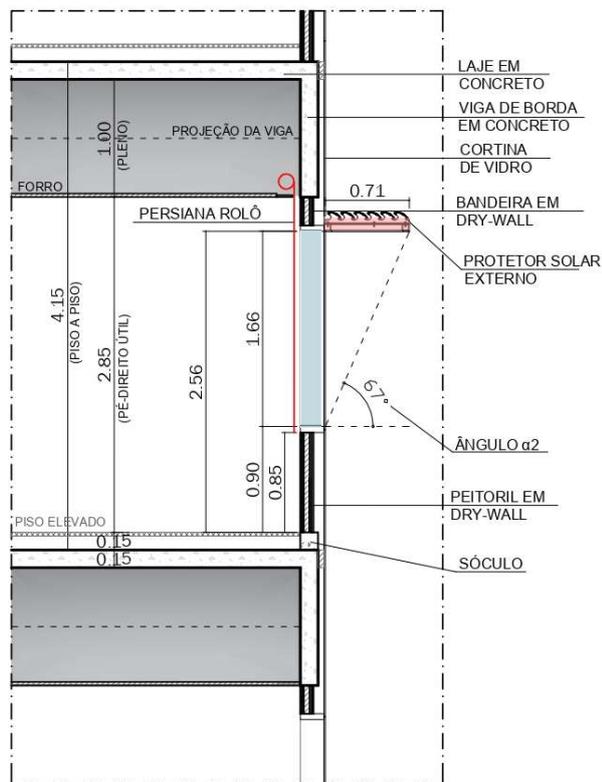
A tipologia dos brises, dimensionamento e condições de sombreamento foram mantidos sem alteração em relação ao projeto referencial desenvolvido por Cacciatori (2016). Detalhes do produto de referência adotado são apresentados no **Anexo C**. A **Figura 17** ilustra as duas condições de sombreamento consideradas para a simulação paramétrica:

Brise Superior (BS): Apenas 1 lâmina horizontal para o W40 e 2 lâminas para W65;

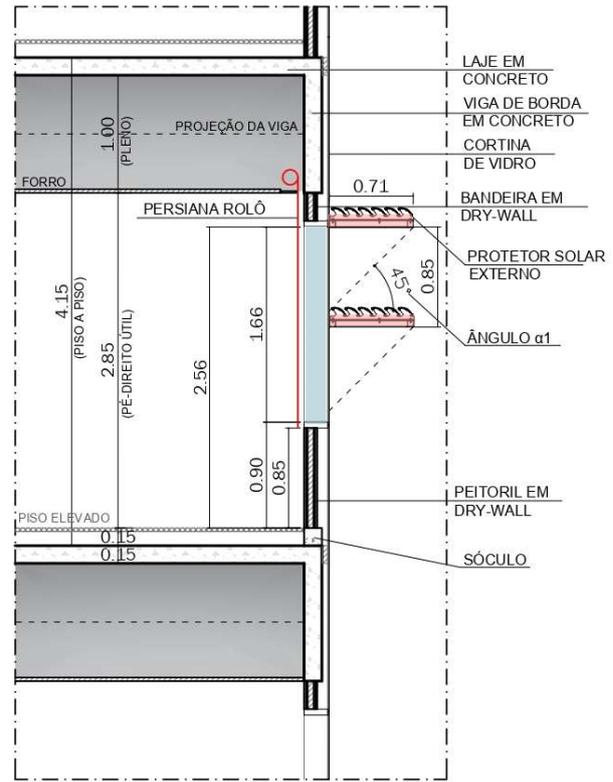
Brise Total (BT): Brises uniformemente distribuídos ao longo da área transparente da fachada, com ângulo alfa de sombreamento vertical constante.

Uma terceira condição foi considerada na modelagem e simulação para realização de análises comparativas: **Sem Brise (SB)**. Em relação ao WWR, foi mantido a relação máxima de 65%, e o mínimo passou para 40%.

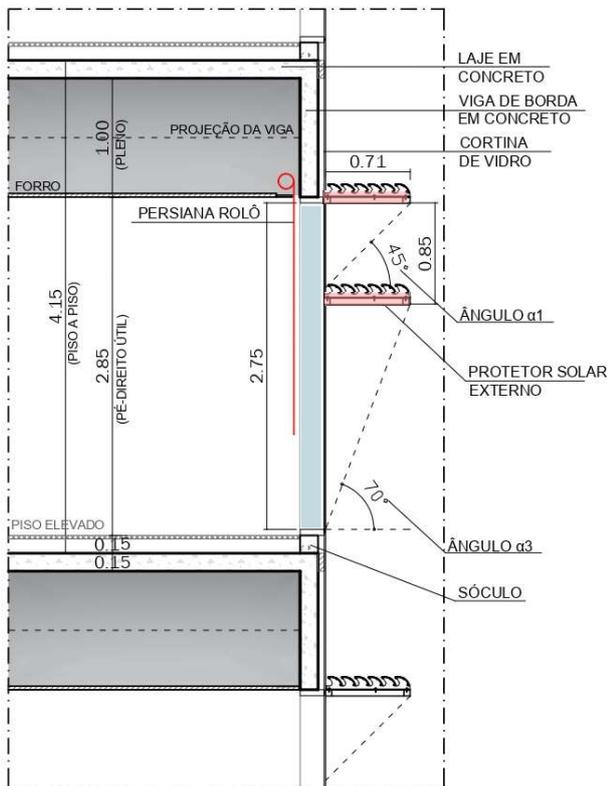
Figura 17 – Cortes Esquemáticos: WWR 40%, com Brise Superior (17-A), WWR 40%, com Brise Total (17-B), WWR 65%, com Brise Superior (17-C), WWR 65%, com Brise Total (17-D)



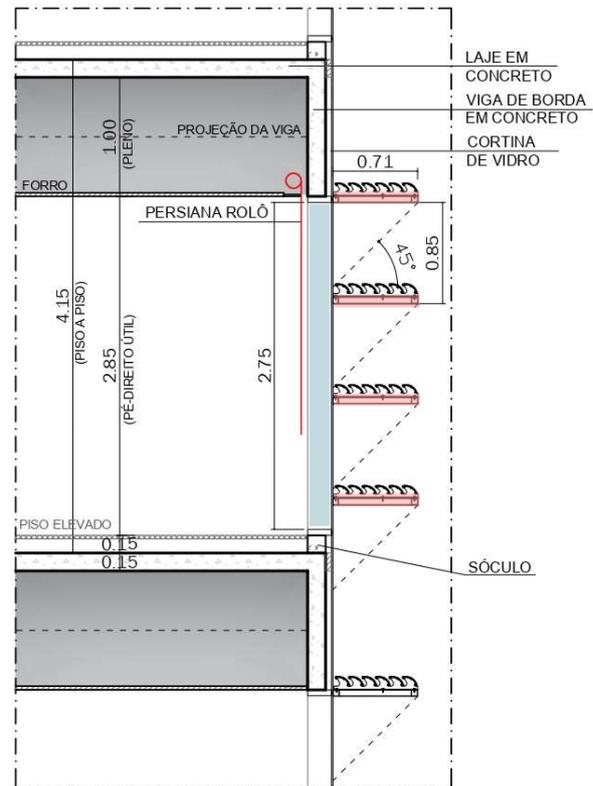
17-A WWR 40% (W40), com Brise Superior (BS)
SEM ESCALA



17-B WWR 40% (W40), com Brise Total (BT)
SEM ESCALA



17-C WWR 66% (W65), com Brise Superior (BS)
SEM ESCALA

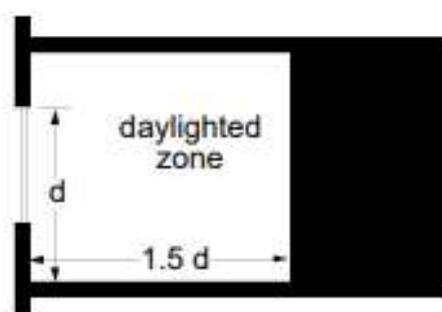


17-D WWR 66% (W65), com Brise Total (BT)
SEM ESCALA

3.1.5 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação artificial do projeto referencial de 2016 foi alterado, de modo a incluir a dimerização de parte do sistema. Para a definição da zona dimerizada, definiu-se a profundidade da zona com maior potencial para aproveitamento de iluminação natural, com base na “regra de ouro” que aponta como a zona de maior eficiência da iluminação lateral, aquela com profundidade correspondente à 1,5 vezes a altura da verga superior da janela “d” (Figura 18).

Figura 18 – Zona de eficiência de iluminação natural para aberturas laterais



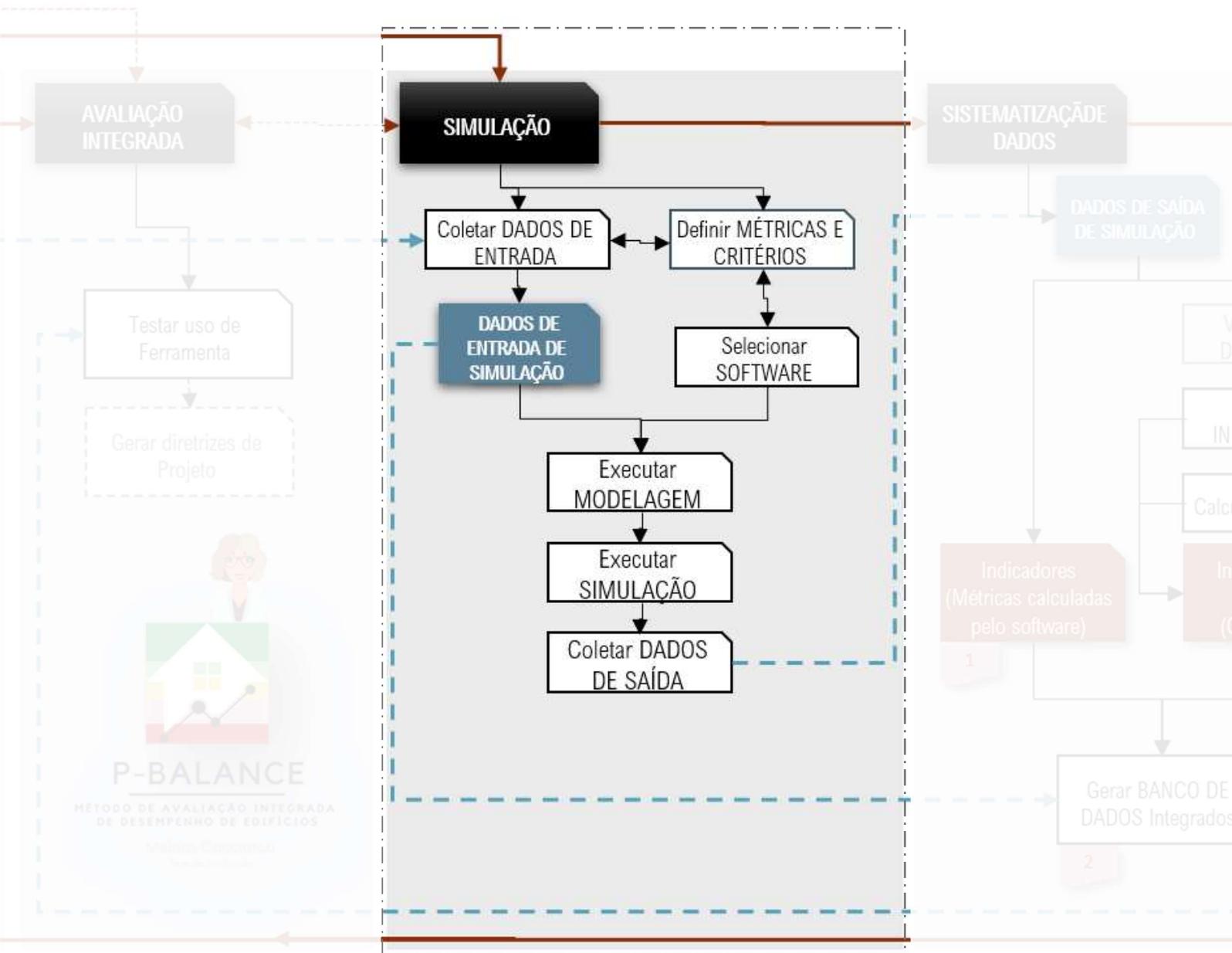
Fonte: O'Connor (1997)

A Figura 19 ilustra a parcela das zonas periféricas que contam com dimerização do sistema de iluminação. Conforme indicado no corte esquemático, a profundidade total da zona periférica é de 5m e a altura da verga superior da janela, é de 2,56m. Portanto, a profundidade da zona de eficiência é de $1,5 \times 2,56 = 3,84\text{m}$. Foi adotada uma profundidade de 3,75m. O sistema de dimerização definido conta com dois sensores – S1 e S2, e a fração total de área dimerizada é de 0,78 da área da zona, o que pode ser considerados equivalente à dimerização das duas primeiras fileiras de luminárias próximas às janelas.

O sistema dimerizado tem uma Densidade de Potência de Iluminação (DPI) de $5,5 \text{ W/m}^2$, para atender à uma iluminância média de 300 lux no plano de trabalho, fixado em uma altura (h) de 0,80m. Para a simulação, o *setpoint* da dimerização foi então fixado em 300 lux: enquanto a iluminação natural suprir a iluminância definida pelo *setpoint*, o sistema permanece desligado. Um sistema complementar de iluminação (200 lux) foi modelado, para suprir a iluminância de tarefa de 500 lux (ABNT, 2013a), com uma DPI de $1,5 \text{ W/m}^2$, que equivale a uma potência entre 10 e 14 W, por posto de trabalho, a depender do layout. O sistema complementar não foi dimerizado.

3.2 Etapa 2: Simulação

Figura 20 - Etapa 2 do Fluxograma do Método: Simulação



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A Etapa 2 agrupa os processos de simulação de desempenho. O objetivo da simulação, é gerar dados de desempenho - métricas e indicadores, para a elaboração do banco de dados de desempenho de alternativas de desenho e materiais de fachada. Os processos de Coletar Dados de Entrada, Definir Métricas e Critérios, Selecionar Software e Sistematização de Dados,

representados no fluxograma acima (**Figura 20**), aparecem organizados em uma sequência serial, com o objetivo de permitir o seu reconhecimento e identificação. Os conectores bidirecionais representam a interação entre eles, tal como ocorre na prática de consultorias. Sobre tais interações, destacam-se:

- As métricas e critérios a serem avaliados são premissas do escopo do serviço, definidas de acordo com os objetivos da avaliação;
- Os softwares, já devem ser de domínio de consultores e analistas e devem permitir modelar e simular de acordo com metodologias próprias ou normativas, além de fornecer os indicadores necessários, de forma direta ou indireta;
- O conhecimento prévio dos softwares, métricas e indicadores, definem quais dados de entrada devem ser coletados e sistematizados para viabilizar a modelagem.

Assim, o processo de definição de métricas e indicadores é dependente da seleção das ferramentas de simulação, uma vez que é necessário o conhecimento prévio de sua capacidade para gerar tais dados. Foi adotada a estratégia de Co-simulação, com o emprego dos seguintes softwares:

- a) Simulação termo-energética: EnergyPlus 9.5 para modelagem e simulação e SketchUp 2017 para visualização de modelos.
- b) Simulação de Iluminação Natural: modelagem 3D pelo software Rhinoceros - Rhino 6 e plugin Climate Studio versão 1.4.7920.28915, que utiliza o Radiance como motor para simulação de iluminação.

Nas seções a seguir, evidenciam-se as relações e interdependência destes processos.

3.2.1 Coleta e Sistematização de Dados de Entrada

Os dados de entrada coletados são sistematizados em (a) um documento de Validação de Dados, que deve fazer parte do procedimento de qualidade de todo serviço de consultoria baseado em simulação, e (b) no Banco de Dados de Desempenho. Nessa tese a execução deste processo foi manual, embora seja possível automatizá-lo, especialmente com o uso de ferramentas BIM, o que deve ser considerado em serviços de consultoria para maior integração com projetistas e redução de prazos. A Validação de Dados de Entrada é uma etapa formal da consultoria.

O **Quadro 10** apresenta todos os dados de entrada de identificação e características dimensionais, coletados e sistematizados em 3 blocos. A sistematização destes dados é importante para que se tenha possibilidade de realizar análises entre aspectos dimensionais e indicadores de desempenho, que buscam identificar dependências entre eles.

Quadro 10 – Sistematização de Dados de entrada - Estrutura do Banco de Dados

Tipo de Dado	Dado	Descrição
Identificação	ID Ambiente	Gerado a partir da combinação dos códigos de identificação abaixo. Para este caso, como o uso é sempre de atividades de escritório e o Azimute é igual a Orientação, estes códigos foram suprimidos do ID Ambiente. Neste projeto, ambientes correspondem às Zonas Térmicas.
	ID Modelo	Gerado a partir dos códigos de variáveis paramétricas resumidas no Quadro 14 .
	ID Pavimento	Pavimento Tipo ou Cobertura (Quadro 17)
	ID Uso	Atividades de Escritório. Este identificador é indispensável em projetos cujo uso é variável entre ambientes avaliados.
	ID Zona	Zn01, Zn02, ... Zn0n. Conforme Figura 14
	ID Orientação Nominal	Norte, Sul, Leste, Oeste
	ID Orientação Sigla	N, S, L, O
	ID Azimute	0°, 90°, 180°, 270°. Este ID será requerido quando um edifício não tenha Azimute = Orientação Nominal.
Características dimensionais arquitetônicas	c	Comprimento. Medida em metros, perpendicular à profundidade
	p	Profundidade. Medida em metros, perpendicular ao alinhamento da fachada
	Pf	Profundidade a partir da fachada (m)
	Hpp	Altura piso-a-piso (m)
	Hlaje	Altura laje (m)
	Hpleno	Altura do pleno (m)
	Hp.elv	Piso Elevado (m)
	Hp	Peitoril (m)
	Hpdu	Pé-direito útil (m)
	VSj	Verga superior da janela (m), medida a partir da face superior do piso elevado
	Hj	Altura Janela (m)
	Ap	Área de piso (m ²)
	V	Volume (m ³)
	Af	Área de Fachada (m ²)
	Aj	Área de Janela (m ²)
	Brises (Br)	Protetores Solares Externos - Brises (Figura 17)
	OrBr	Orientação do Brise: Horizontal ou Vertical
	IDBr	ID Brise
Brl	Largura (Brl)	

	Brp	Profundidade (Brp)
	Bre	Espaçamento entre lâminas (Bre)
	AfaBrH	Afastamento do Brise em relação ao alinhamento externo da fachada: Se orientação horizontal, posição relativa da primeira peça em relação à verga superior (m)
	AfaBrV	Afastamento do Brise em relação ao alinhamento externo da fachada: Se orientação vertical, posição relativa da primeira peça em relação à lateral esquerda (m)
Indicadores Dimensionais Calculados	WWR	<i>Window-to-Wall Ratio</i> (WWR) é a relação entre área da janela e área da Fachada [Aj/Af]
	WFR	<i>Window-to-Floor Ratio</i> (WFR) é a relação entre área da janela e área do piso WFR [Aj/AP]
	Allpe	Aproveitamento de iluminação natural lateral: Profundidade estimada, calculada com base na altura da verga superior da janela [VSj*1.5]
	Npav	Npav : número de pavimentos (Ex.: 20)
	AoPav	AoPav (Área ocupada do pavimento) [soma ApZN1...ZNn]
	AoT	AoT (Área ocupada total) [soma ApZN1...ZNn]*Npav]

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O **Quadro 11** abaixo, resume os parâmetros variáveis adotados na simulação paramétrica, indicando seus códigos de identificação (ID). A definição dos códigos de identificação é necessária para geração da nomenclatura de modelos e ambientes.

Quadro 11 – Parâmetros Variáveis e códigos de identificação (ID)

Variável	ID	Parâmetro
WWR	W40	WWR 40% - altura da janela 1,66m
	W65	WWR 65% - altura da janela 2,75m
Brises (Figura 13)	SB	Sem brises
	BS	Brise Superior – Apenas parte superior da área transparente
	BT	Brise Total – Toda a área transparente protegida, com ângulo de proteção uniforme
Vidros (Tabela 2)	V27	Vidro insulado de Controle Solar, Low-e, com fator solar de 27%
	V44	Vidro Laminado de Controle, com fator solar de 44%
	V61	Vidro Laminado de Controle, com fator solar de 61%
Persianas (Tabela 3)	P00	Sem persiana
	P71	Persiana interna automatizada, tecido com face externa aluminizada, refletância externa de 71%
	P68	Persiana interna automatizada, tecido na cor branca, refletância externa de 68%
	P53	Persiana interna automatizada, tecido dupla face, refletância externa de 53%
	Pext	Persiana externa automatizada

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A nomenclatura dos Modelos é gerada com base na combinação nos códigos ID dos parâmetros variáveis conforme exemplo do **Quadro 12** abaixo.

Quadro 12 – Exemplo de Nomenclatura de Modelos com base em códigos ID de Variáveis Paramétricas

WWR	Brise	Vidro	Persiana	Nome Modelo
W65	SB	V61	P00	W65-SB-V61-P00

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A avaliação de fachadas demanda uma análise por orientação. No caso do objeto de estudo em questão, adotou-se a análise das zonas térmicas (**Figura 14**) adjacentes à fachada, referenciadas como ambientes, as quais foram identificadas e nomeadas conforme exemplo indicado no **Quadro 13** abaixo. Foram adicionados à direita do nome do modelo, os códigos de identificação (ID) do Pavimento, Posição da Zona e Orientação apresentados no **Quadro 14**.

Quadro 13 - Exemplo de Nomenclatura de Ambientes com base em códigos ID de Variáveis de Localização e Orientação

ID Pavi-mento	ID Posição da Zona	ID Orientação	WWR	Brise	Vidro	Persiana	Nome Ambiente
P10	F	S	W65	SB	V61	P00	P10-F-S-W65-SB-V61-P00

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quadro 14 – Variáveis de Localização e Orientação de ambientes – Zonas Térmicas

Variável do Ambiente	ID	Descrição
Pavimento	P10	Pavimento tipo, 10º Andar. Adotou-se o pavimento tipo do 10º andar para simulação e depois foi seus resultados foram atribuídos aos demais pavimento tipos para composição de métricas globais de desempenho do modelo do edifício.
	C20	Cobertura, 20º Andar. A cobertura foi modelada e simulada para contabilizar os impactos da sua maior exposição solar em relação aos pavimentos tipo.
Posição da Zona	F	Fachada (Zn01 a Zn04 – Figura 14)
	C	Central (Zn05 a Zn08 – Figura 14)
Orientação da Zona	S	Sul (Zn01)
	L	Leste (Zn02)
	N	Norte (Zn03)
	O	Oeste (Zn04)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2 Definição de métricas e critérios

Em alinhamento à abordagem de projeto *Façade First*²⁰ (Fachada Primeiro) e às pesquisas e métodos desenvolvidos com foco em avaliação integrada de fachadas, que objetivam atender parâmetros de resiliência, conforto e eficiência energética (LEED, 2020), este estudo adotou métricas e indicadores que permitam a avaliação da fachada, de forma que seja evidenciada sua influência no desempenho termo-energético e lumínico do edifício.

Este método não tem como objetivo analisar em profundidade as métricas e indicadores disponíveis para avaliação de desempenho de fachadas. No entanto, são iniciadas algumas análises com base em limitações observadas na prática de consultorias, que devem ser aprofundadas em pesquisa específica para definição de um conjunto de indicadores equilibrados.

Primeiramente, é importante considerar que o desempenho de fachadas deve ser avaliado por orientação. Assim, são definidos indicadores de qualidade e critérios de Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico para:

- a) avaliação global do edifício e
- b) avaliação de ambientes, por orientação.

Os indicadores são (a) relativos, quando definidos com base na comparação com um modelo de referência ou, (b) absolutos, quando indicam o valor de uma métrica calculada para o próprio modelo em análise. As seções 3.2.2.1 a 3.2.2.3 a seguir apresentam considerações gerais para a definição e detalhes dos indicadores e critérios.

Além dos indicadores de desempenho específicos para cada aspecto avaliado, uma nota denominada *Ranking* foi atribuída a cada modelo paramétrico, para apoio ao processo de seleção de alternativas de projetos. O cálculo da nota e suas premissas são apresentadas na seção 3.2.2.5 a seguir.

²⁰ *Façade First* (Fachada Primeiro) é uma estratégia de projeto orientado ao desempenho baseada no reconhecimento da importância de priorizar o projeto da fachada como um passo inicial fundamental para melhorar o desempenho de um edifício, antes de abordar a sua eficiência energética global

3.2.2.1 Eficiência Energética

O método de avaliação de eficiência energética definido pelo Apêndice G da Norma ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2010) é a base normativa para atendimento de sistemas de certificação, tal como LEED (LEED, 2014), e vem sendo amplamente adotada como referência para outras normas e sistemas de certificação. Este método consiste basicamente na comparação do modelo proposto (projeto real), com um modelo de referência (baseline) que deve ter a mesma arquitetura, WWR 40%, características de resistência térmica de materiais da envoltória, densidade de potência de iluminação e tipologia de sistema de ar-condicionado definidos pela norma.

O uso de métodos, indicadores, métricas e critérios compatíveis com as bases normativas mais frequentemente adotados na prática de consultorias facilita a comunicação de resultados ao mercado, já familiarizado com tais bases. Em um mercado orientado ao atendimento de certificações, o processo de inclusão de novas metodologias demanda a comparação com as bases da prática corrente, com a finalidade de informar a relação entre elas.

Como colocado anteriormente, sem apresentar uma análise comparativa aprofundada entre métodos e métricas, algumas limitações são observadas na prática de consultorias quando se adota a metodologia do Apêndice G para avaliação de fachadas. Nesta metodologia, não obstante as variações de comportamento entre diferentes projetos, parte do desempenho da fachada pode ser compensado pela eficiência de sistemas ativos – ar-condicionado e iluminação artificial - em tipologias de edifícios de escritórios. Destacam-se alguns fatores que contribuem para este comportamento:

- A participação reduzida das fachadas na carga térmica total, usualmente superada por cargas térmicas internas, geralmente em casos nos quais a área de janela é muito menor do que a área de piso;
- O elevado desempenho relativo, em termos de eficiência energética, dos sistemas de ar-condicionado e iluminação do projeto em relação ao baseline. Ou seja, a eficiência elevada dos sistemas ativos compensa um eventual desempenho inferior da fachada.

É importante salientar que ao aceitar que o desempenho termo-energético da fachada seja compensado pelo sistema de ar-condicionado, ou mesmo o aproveitamento de

iluminação natural seja compensado pelo sistema de iluminação artificial, o projeto segue um caminho contrário ao objetivo de resiliência da arquitetura, para o qual a priorização de estratégias passivas deve oferecer o melhor desempenho possível em cada situação específica.

Outra característica do método que oferece limitações à avaliação de fachadas para direcionamento de projeto são as especificações de materiais da envoltória por ele definidas para o modelo baseline. Embora as definições sejam específicas para diferentes zonas bioclimáticas e para edifícios climatizados, a resistência térmica dos materiais e sistemas construtivos não são característicos do que é frequentemente adotado pelo mercado imobiliário brasileiro. Conforme demonstrado por Cacciatori (2016), para modelo com WFR de 0,44, fachadas com vidros mais resistentes podem aumentar o consumo. Isso ocorre devido à dificuldade de perda de calor noturno pela fachada, comportamento observado em fachadas desta tipologia, no clima de São Paulo.

Assim, seguindo a metodologia adotada por Cacciatori (2016), para esta tese foram definidos indicadores de eficiência energética baseados na relação entre o consumo total de energia elétrica e a carga térmica do modelo em análise, comparados a um modelo de referência. O modelo de referência é caracterizado por ter a fachada com menor resistência térmica e nível de proteção solar do grupo de modelos paramétricos avaliados, com cargas térmicas internas e eficiência de sistema de ar-condicionado não variáveis. Assim, apenas o desempenho da fachada é avaliado de forma isolada e a resistência da fachada é definida por sistemas construtivos e materiais passíveis de serem efetivamente aplicados em projetos do mercado em referência. Os indicadores e critérios adotados estão apresentados nos **Quadros 15 e 16**.

Para indicação do nível de atendimento do critério foi estabelecida uma escala cromática com 5 níveis (**Figura 21**), aplicada a todos os aspectos avaliados – Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico. Esta escala foi adotada para a elaboração da ferramenta P-Balance – Etapa 4. O desenvolvimento da ferramenta foi realizado com base na premissa de que a atribuição de classes deve ser definida pelo usuário, assim como é flexível a definição de indicadores e critérios, com base em necessidades específicas de análise de cada projeto.

Figura 21 – Escala cromática de classificação dos critérios de indicadores de desempenho

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quadro 15 - Indicadores e Critérios de Eficiência Energética para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício

Indicador de Qualidade	Descrição	Critério
CTr total (%)	Carga Térmica (CT) Total relativa (r): é a variação de CT de dimensionamento do sistema de HVAC, ou seja, a CT crítica, em relação ao referencial adotado - modelo com menor proteção térmica de fachada [CT _{modelo} / CT _{modelo ref} = CTr total (%)]	CTr Total < -10% = Classe 1 0 < CTr Total ≤ -10% = Classe 2 CTr Total ≥ 0 = Classe 5
CONr (%)	Consumo (CON) relativo (r): variação do consumo dos modelos, em relação ao modelo de referência [CON _{modelo} / CON _{modelo ref} = CONr (%)]	CONr < -15% = Classe 1 0 < CONr ≤ -15% = Classe 2 CONr ≥ 0 = Classe 5
CAEr (%)	Custo Anual de Energia (CAE) relativo (r): é a variação do custo de energia em relação ao modelo referencial [CAE _{modelo} / CAE _{modelo ref} = CAEr (%)]	CAEr < -15% = Classe 1 0 < CAEr ≤ -15% = Classe 2 CAEr ≥ 0 = Classe 5

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

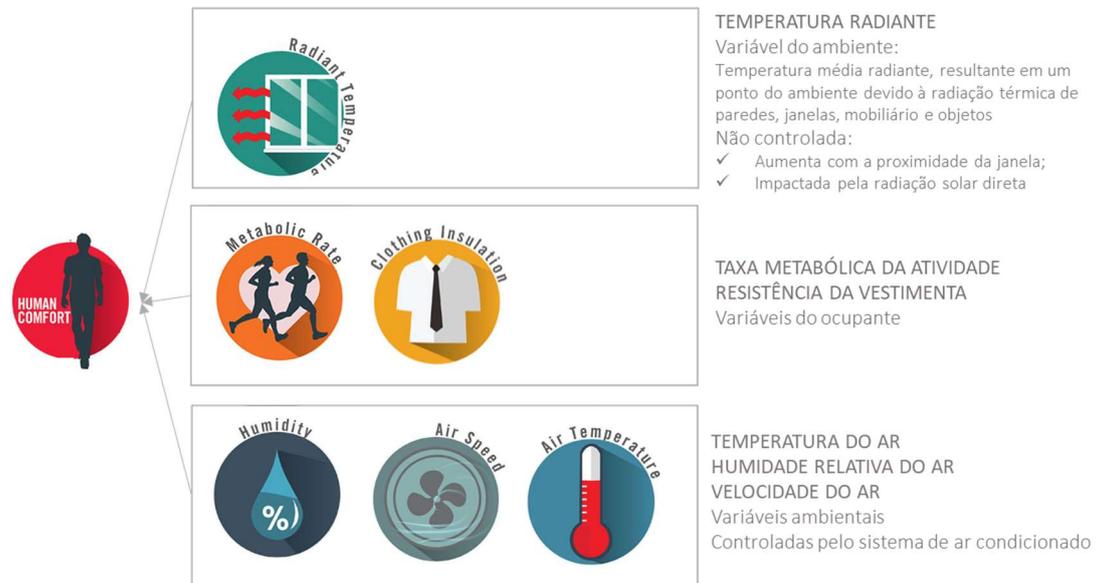
Quadro 16 - Indicadores e Critérios de Eficiência Energética para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação de Ambientes, por orientação

Indicador de Qualidade	Descrição	Critério
CTj-r,a (%)	Carga Térmica (CT) de janela(j) relativa(r) anual(a) da zona térmica: é a variação de CT anual admitida pela janela, em relação a uma zona de mesma orientação de um modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada. A CT adotada é o balanço, entre perdas e ganhos. [CTj,a modelo / CTj,a modelo ref = CTj-r,a (%)]	CTj-r,a < -10% = Classe 1 0 < CTj-r,a ≤ -10% = Classe 2 CTj-r,a ≥ 0 = Classe 5

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2.2 Desempenho e Conforto Térmico

O indicador mais amplamente utilizado em pesquisas e avaliações de conforto térmico em ambientes moderados e climatizados é o PMV (*Predicted Mean Vote*) – Voto Médio Predito. Este indicador, desenvolvido por P.O. Fanger é descrito na norma ISO 7730 (ISO, 2005), aplicado pela Norma ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) e adotado em diversos sistemas de certificação tais como LEED e WELL. Conforme Norma ASHRAE 55, o indicador PMV é a base para determinação de condições térmicas do ambiente – Temperatura, Umidade, Velocidade do ar e Temperatura radiante – nas quais uma parcela significativa dos ocupantes julgue aceitável, considerando a taxa metabólica de suas atividades e nível de resistência do vestuário (**Figura 22**). O PMV atribui um valor numérico que representa a média das votações das pessoas em relação ao seu conforto térmico, variando de -3 (muito frio) a +3 (muito quente). O objetivo é obter um PMV próximo a zero, o que indica que a maioria das pessoas se sentem confortáveis em relação às condições térmicas do ambiente. A Norma ASHRAE 55 estabelece o critério de PMV=0,5.

Figura 22 – As 6 Variáveis consideradas no cálculo do PMV

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A **Figura 23** apresentada no texto original, apresentava o Gráfico de intervalos de temperaturas operativas aceitáveis – 80% e 90% de aceitação – Norma ASHRAE 55. No entanto, após revisão e considerando a relevância dos dados apresentados, optou-se por remover a Figura [].

Figura 23 – []

Embora já estejam disponíveis métricas espaciais anuais para avaliação de autonomia de conforto térmico, que representam melhor o desempenho da fachada neste aspecto, este estudo manteve o uso do PMV calculado diretamente pelo software EnergyPlus 9.5, ferramenta adotada para a simulação termo-energética. O EnergyPlus ainda não possui o cálculo de uma métrica anual espacial de conforto térmico integrado. Ele calcula, para um único ponto central da zona térmica (**Figura 24**), o percentual de tempo a cada hora, em que o critério de PMV definido pela ASHRAE 55 não é atendido. O fato de se ter um único ponto calculado não favorece a avaliação da fachada nos seguintes aspectos:

- a) Um único ponto não representa corretamente o impacto da variação da temperatura radiante da fachada ao longo da profundidade da zona térmica / ambiente;
- b) Em projetos de escritórios com planta aberta por exemplo, para o qual se realiza avaliação de eficiência energética de acordo com a metodologia do Apêndice G, tem-se a profundidade da zona periférica – de fachada - definida em 5 metros. No entanto, em um projeto com compartimentação física de ambientes, esta profundidade deve variar e então, haverá pontos de medição do PMV em diversas profundidades relativas à fachada, o que é uma falha metodológica. O ideal é a medição em grid, tal como os indicadores de iluminação, com medição de vários pontos, cobrindo toda a área ocupada.

Figura 24 – Saída típica de resultados para avaliações térmica e lumínica.

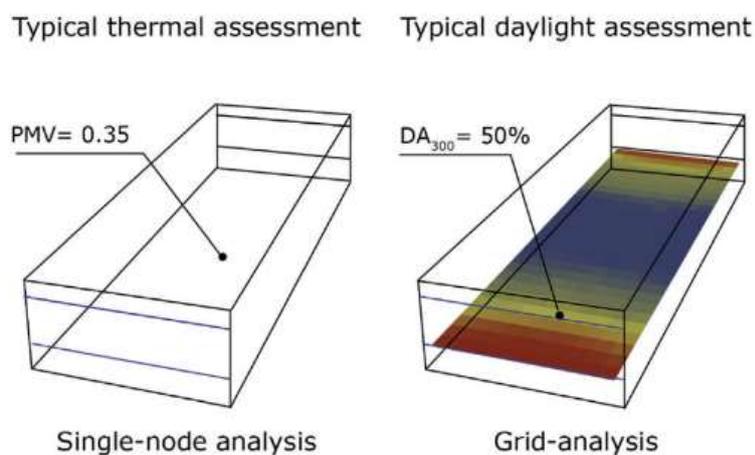
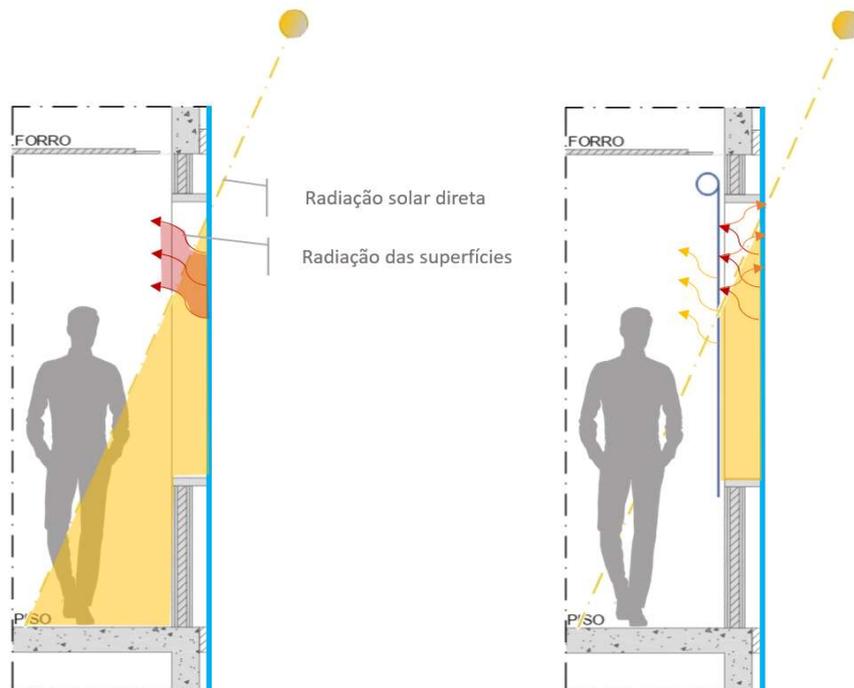


Fig. 1. Typical outputs from thermal and daylight assessments.

Nesta tese, que tem como foco o desenvolvimento de uma ferramenta de visualização para suporte de avaliação integrada, decidiu-se pela manutenção do PMV por ser um indicador ainda utilizado na prática de consultorias. O reconhecimento da ineficácia do indicador calculado para um único ponto resultou na seleção de um indicador adicional para a avaliação de alternativas de fachada: a variação de Temperatura Radiante Média (MRT) máxima, que vem a ser a variável ambiental mais diretamente impactada pelo comportamento da fachada, considerada no cálculo do PMV. No entanto, outra limitação está relacionada a MRT: o cálculo de correção da Temperatura Radiante devido à incidência de radiação solar direta sobre o ocupante previsto na ASHRAE 55-2017 apresentado na seção 3.1.3, que também não está integrado no software EnergyPlus 9.5.

A **Figura 25** ilustra a radiação solar direta sobre o ocupante combinada com a radiação das superfícies, que influenciam a MRT. É importante destacar que as estratégias de sombreamento adotadas para o estudo paramétrico desta tese podem eliminar o efeito da radiação solar direta sobre o ocupante em alguns casos, e atenuam a radiação das superfícies da fachada, impactando diretamente a MRT da zona térmica. A manutenção destes indicadores neste estudo, cumprem com a função de demonstrar os *trade-offs* entre indicadores. Reforça-se também a necessidade de se investir no desenvolvimento e integração de métricas anuais e espaciais de desempenho e conforto térmico em softwares de simulação.

Figura 25 – Ilustração Radiação solar direta sobre o ocupante e radiação das superfícies, que resultam na Temperatura radiante da fachada (esq) e Ilustração do efeito de um elemento de proteção solar direta, que elimina o efeito da radiação solar direta e atenua a radiação das superfícies (dir)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Dois indicadores foram gerados a partir do PMV para este estudo:

1. **PMVh,z (%)**. É o percentual anual de horas (h) de atendimento do critério PMV definido pela ASHRAE 55-2017 ($PMV = 0,50$), da zona térmica (z) em análise. Este indicador é adotado na avaliação de zonas térmicas / ambientes, por orientação.

Este indicador anual é calculado com base na saída de simulação do EnergyPlus 9.5: *Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Simple Model Summer or Winter Clothes Not Comfortable Time [hr](Hourly)*, que apresenta a fração de tempo não confortável com base no critério da ASHRAE 55. Para obtenção do indicador anual, são somadas todas as frações dos horários ocupados e subtraído do total de horas ocupadas (100% do tempo). O resultado, é o percentual anual de horas que atendem o critério.

2. **PMVh,a (%)**. É o percentual de horas (h) de atendimento anual (a) do critério PMV segundo ASHRAE 55-2017 (PMV = 0,50), calculado pela somatória da média ponderada pela área dos indicadores anuais de cada zona térmica, **PMVh,z**. Este indicador é adotado na avaliação global do edifício.

Fórmula:

$$PMVh,a = \frac{\sum_{i=1}^{8} [(PMV_{tipo_Zn0i} * Ap_{Zn0i}) * 19 + \sum_{i=1}^{8} [(PMV_{cob_Zn0i} * Ap_{Zn0i})]]}{\sum_{i=1}^{8} [Ap_{Zn0i}] * 20}$$

Onde:

Σ representa a soma, onde você somará os termos para i variando de 1 a 8.

PMV_tipo_Zn0i representa o valor PMV da zona térmica do pavimento tipo Zn0i.

PMV_cob_Zn0i representa o valor PMV da zona térmica de cobertura Zn0i.

Ap_Zn0i representa a área de piso ocupada da zona térmica Zn0i.

Esta fórmula calcula uma média ponderada dos valores PMV para zonas térmicas dos pavimentos tipo e cobertura - Zn01 a Zn08, com base em suas áreas correspondentes.

Outros indicadores são sugeridos para a avaliação de desempenho e conforto térmico:

- Densidade de Potência de Janela (DPJ) dada em kWh/m², definido inicialmente por Cacciatori (2016) para análises de variações de desenho e materiais de fachada. Este indica a medida da carga térmica de janela anual (soma de perdas e ganhos) dividida pela área da zona térmica na qual a janela está localizada. As variações para uso na avaliação global (**DPJa,r**) e na avaliação por ambiente (**DPJz**) estão informadas nos **Quadros 17 e 18**;
- A **MRTmax (°C)** - Temperatura média radiante máxima da zona térmica, e a **MRTmax,dif (°C)** - Diferença entre a Temperatura média radiante máxima da zona térmica e da zona térmica de mesma orientação do modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada, são indicadores disponibilizados apenas para informação complementar, sem definição de critérios. Embora estes indicadores estejam disponíveis na ferramenta

não estão inclusos no método de avaliação definido. Para inclusão no método, devem ser estabelecidos critérios referenciais;

- A **MRT_{max,r} (%)** - Mean Radiant Temperature (MRT): Temperatura Média Radiante máxima relativa (r): é a variação da MRT da zona, em relação a uma zona de mesma orientação de um modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada. Embora relações entre temperaturas devam ser calculadas em Kelvin, por se tratar de uma escala absoluta, no processo de desenvolvimento da ferramenta e do método, o cálculo foi realizado com base em temperaturas em Graus Celsius para ilustração, pelo fato de que é uma medida mais facilmente interpretada pelos potenciais usuários da ferramenta. O refinamento deste indicador é requerido, com base em estudos aprofundados de cálculo e definição de critérios.

Quadro 17 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Térmico para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício

Indicador de Qualidade	Descrição	Critério
DPJa,r (%)	Densidade de Potência de Janela (DPJ) anual (a) relativo (r): é a variação de DPJ em relação ao modelo de referência. DPJ é a carga térmica de janela dividida pela área de piso climatizada. [CTj,a modelo / área de piso = DPJ (kWh/m ²)] [DPJa modelo / DPJa modelo ref = DPJa,r (%)]	DPJa,r < -15% = Classe 1 0 < DPJa,r ≤ -15% = Classe 2 DPJa,r ≥ 0 = Classe 5
PMVh,a (%)	<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i> - Voto Médio Predito: É o percentual de horas (h) de atendimento anual (a) do critério PMV segundo ASHRAE 55-2017 (PMV = 0,50), calculado pela somatória da média ponderada pela área dos indicadores anuais de cada zona térmica, PMVh,z . *Ver descrição do cálculo na seção 3.2.2.2	PMVh,a ≥ 90% = Classe 1 90% < PMVh,a ≤ 80% = Classe 2 80% < PMVh,a ≤ 70% = Classe 3 70% < PMVh,a ≤ 60% = Classe 4 PMVh,a < 60% = Classe 5

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quadro 18 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Térmico para avaliação integrada de desempenho de fachadas - Avaliação de Ambientes, por orientação

Indicador de Qualidade	Descrição	Critério
PMV_{h,z} (%)	<i>Predicted Mean Vote</i> (PMV) - Voto Médio Predito: é o percentual anual de horas (h) de atendimento do critério PMV definido pela ASHRAE 55-2017 (PMV = 0,50), da zona térmica (z) em análise. *Ver descrição do cálculo na seção 3.2.2.2	PMV _{h,z} ≥ 90% = Classe 1 90% < PMV _{h,z} ≤ 80% = Classe 2 80% < PMV _{h,z} ≤ 70% = Classe 3 70% < PMV _{h,z} ≤ 60% = Classe 4 PMV _{h,z} < 60% = Classe 5
MRT_{max,r} (%)	<i>Mean Radiant Temperature</i> (MRT): Temperatura Média Radiante máxima relativa (r): é a variação da MRT da zona, em relação a uma zona de mesma orientação de um modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada. [MRT _{max} modelo / MRT _{max} modelo ref = MRT _{max,r} (%)]	MRT _{max,r} < -15% = Classe 1 0 < MRT _{max,r} ≤ -15% = Classe 2 MRT _{max,r} ≥ 0 = Classe 5
DPJ_z (kWh/m²)	Densidade de Potência de Janela da zona térmica (DPJ _z) em kWh/m ² é a medida da carga térmica de janela anual dividida pela área da zona térmica na qual a janela está localizada. [CT _{j,z} modelo / área de piso da zona = DPJ _z (kWh/m ²)]	Indicador informativo de apoio. Escala de Classificação não aplicável.
MRT_{max} (°C)	Temperatura média radiante máxima da zona térmica. Saída direta da simulação.	Indicador informativo de apoio. Escala de Classificação não aplicável.
MRT_{max,dif} (°C)	Diferença entre a Temperatura média radiante máxima da zona térmica e da zona térmica de mesma orientação do modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada [MRT _{max} modelo - MRT _{max} modelo ref = MRT _{max,r} (°C)]	Indicador informativo de apoio. Escala de Classificação não aplicável.

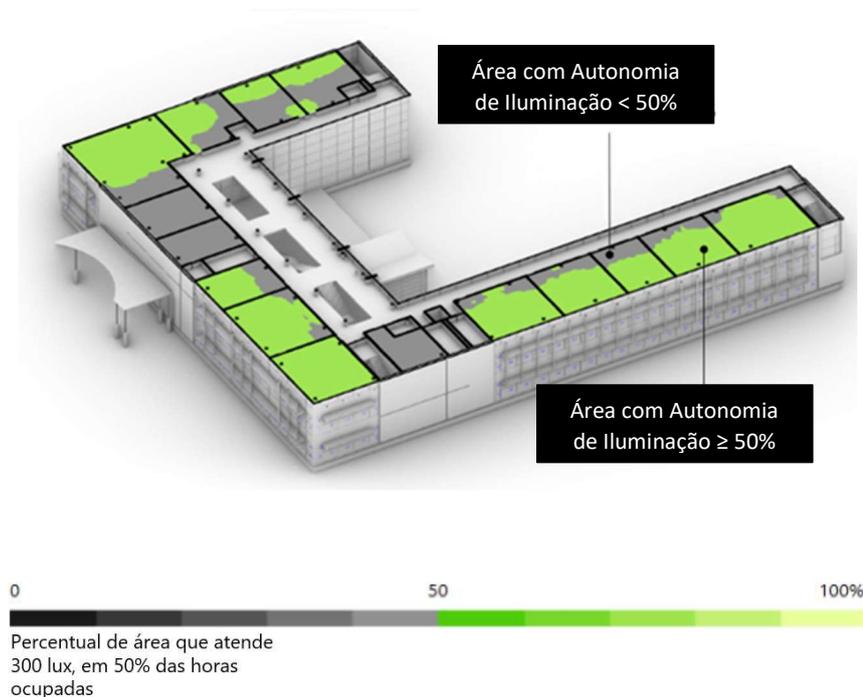
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2.3 Desempenho e Conforto Lumínico

Para avaliação de desempenho e conforto lumínico foram adotadas métricas anuais e espaciais definidas e calculadas de acordo com a Norma IES LM-83-12 (IES, 2012) e métricas complementares descritas abaixo. O **Quadro 19** apresenta as métricas e seus critérios de avaliação.

- *Spatial Daylight Autonomy (sDA)* - É uma métrica que descreve a Autonomia de Iluminação Natural do Espaço, incorporando os aspectos temporal e espacial. Ela define qual é o percentual de área de piso regularmente ocupada que atende um critério de iluminância alvo (300 lux), em pelo menos 50% do tempo de análise (10 horas por dia, em um ano). Dispositivos de sombreamento dinâmico devem ser previstos. Os cálculos de sDA são baseados em simulações climáticas anuais, para diferentes condições de céu ao longo do ano.

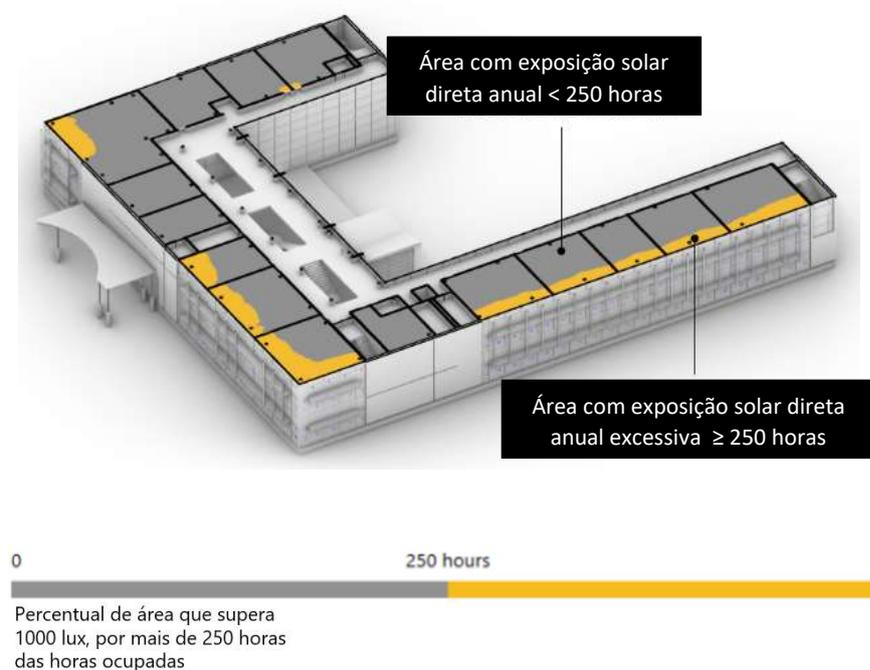
Figura 26 – Ilustração sDA - Autonomia de Iluminação Natural do Espaço



Fonte: (SOLLEMA, 2023)

- **Annual Sunlight Exposure (ASE)** – Exposição Solar Anual. Esta métrica é adotada para indicar o potencial de desconforto visual por ofuscamento em ambientes internos de trabalho. É definida como o percentual de área com excesso de iluminância direta do sol (> 1000 lux), em mais de 250 horas por ano. O ASE é calculado considerando que os dispositivos de sombreamento dinâmicos, tal como persianas, estão desativados, enquanto o sDA leva um sistema de sombreamento dinâmico ativo ao longo de todo o ano.
- **Annual Sunlight Exposure (ASEblinds)** - Exposição Solar anual considerando persianas ativas, absoluto, de cada modelo, não é relativo. Este é um indicador calculado diretamente pelo software de simulação adotado, que não é contemplado pela norma IES LM-83-12. Ele foi adotado para complementar a avaliação, verificando o impacto das persianas.

Figura 27 – Ilustração ASE - Exposição Solar Anual



Fonte: (SOLLEMA, 2023)

No item 3.2.3 – Modelagem e Simulação, são apresentadas todas as condições de modelagem, que seguiram a metodologia da Norma IES LM-83-12 para estes indicadores.

A existência de uma metodologia baseada em norma e um software que permite a simulação direta dos indicadores, facilita a sua seleção. Estes indicadores são amplamente adotados em pesquisas e como referências em normas e sistemas de certificação. Mesmo neste caso são observadas algumas limitações, que levam à necessidade de agregar um indicador complementar:

- *Useful daylight illuminance* (UDI) - Iluminância útil diurna. Este indicador permite analisar o percentual de tempo que os níveis de iluminação natural atendem aos intervalos:

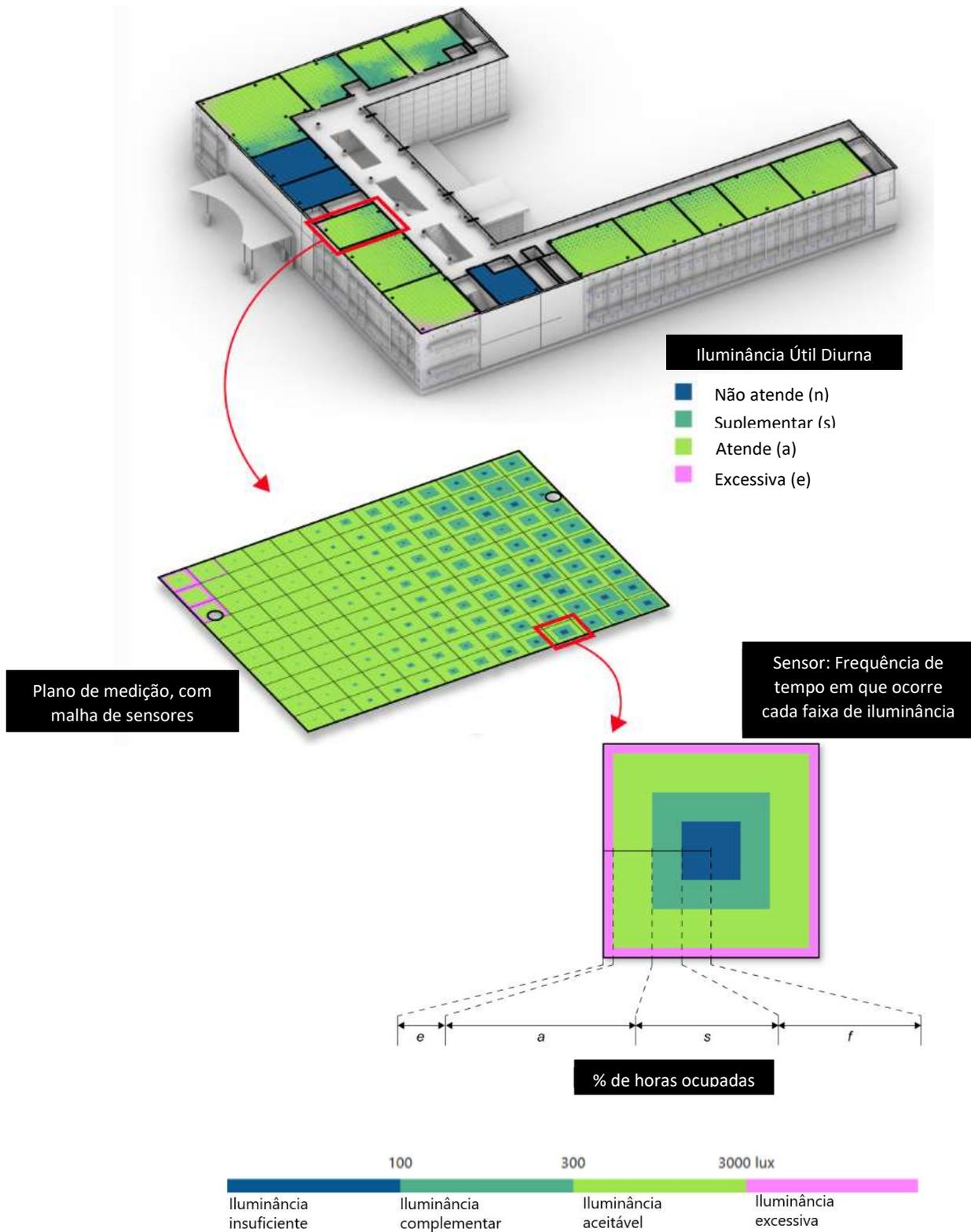
UDI_n: Não Atende; Menos de 100 lux.

UDI_s: Suplementar; Entre 100 e 300 lux.

UDI_a: Atende; Entre 300 e 3000 lux.

UDI_e: Excessiva Mais de 3000 lux.

Figura 28 – Ilustração UDI - Iluminância útil diurna



Fonte: (SOLLEMA, 2023)

Foram adotados como indicadores complementares, UDla e UDle. Enquanto o sDA mede apenas a suficiência de luz natural, englobando todos os níveis de iluminância acima de 300 lux, o UDla informa o percentual de tempo e a área na qual a iluminação natural é adequada para tarefas de trabalho, em níveis que não causam ofuscamento. O UDle informa iluminâncias excessivas, acima de 3000 lux.

Quadro 19 - Indicadores e Critérios de Desempenho e Conforto Lumínico para avaliação integrada de desempenho de fachadas – Avaliação Global do Edifício e Avaliação de Ambientes, por orientação

Indicador de Qualidade	Descrição	Critério
sDA (%)	<i>Spatial Daylight Autonomy</i> (sDA) – Autonomia de Iluminação Natural do espaço, global de cada modelo, não é relativo	sDA ≥ 75% = Classe 1 75% < sDA ≤ 40% = Classe 2 sDA < 40% = Classe 5
ASE (%)	<i>Annual Sunlight Exposure</i> (ASE) – Exposição Solar Anual, absoluto, de cada modelo, não é relativo	ASE ≤ 10% = Classe 1 10% < ASE ≤ 40% = Classe 4 ASE > 40% = Classe 5
ASE blinds (%)	Exposição Solar anual considerando persianas ativas, absoluto, de cada modelo, não é relativo	ASEb ≤ 5% = Classe 1 ASEb > 5% = Classe 5
UDla (%)	<i>Useful daylight illuminance</i> (UDI) - Iluminância útil aceitável (a)	UDla ≥ 75% = Classe 1 75% < UDla ≤ 50% = Classe 2 50% < UDla ≤ 35% = Classe 3 35% < UDla ≤ 20% = Classe 4 UDla < 20% = Classe 5
UDle (%)	<i>Useful daylight illuminance</i> (UDI) - Iluminância útil excessiva (e)	UDle ≤ 10% = Classe 1 10% < UDle ≤ 30% = Classe 3 30% < UDle ≤ 50% = Classe 4 UDle > 50% = Classe 5

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2.4 Resumo: Métricas e Softwares selecionados

Os **Quadros 20 e 21** abaixo apresentam o resumo de todas as métricas e softwares adotadas para a Avaliação global do Edifício e para a avaliação de ambientes, respectivamente.

Quadro 20 – Métricas e Indicadores para avaliação integrada de Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico de fachadas – Avaliação Global do Edifício

Software	Indicador de Qualidade	Descrição
Eficiência Energética (EnergyPlus)	CTr total (%)	Carga Térmica (CT) Total relativa (r): é a variação de CT de dimensionamento do sistema de HVAC, ou seja, a CT crítica, em relação ao referencial adotado - modelo com menor proteção térmica de fachada
	CONr (%)	Consumo (CON) relativo (r): variação do consumo dos modelos, em relação ao modelo de referência
	CAEr (%)	Custo Anual de Energia (CAE) relativo (r): é a variação do custo de energia em relação ao modelo referencial
Desempenho e Conforto Térmico (EnergyPlus)	PMVh,a (%)	<i>Predicted Mean Vote</i> (PMV) - Voto Médio Predito, percentual de horas (h) de atendimento anual (a) do critério PMV segundo ASHRAE 55
	DPJa,r (%)	Densidade de Potência de Janela (DPJ) anual (a) relativo (r): é a variação de DPJ em relação ao modelo de referência. DPJ é a carga térmica de janela dividida pela área de piso climatizada.
Desempenho Lumínico (Rhino + Climate Studio)	sDA (%)	<i>Spatial Daylight Autonomy</i> (sDA) - Autonomia Espacial de Iluminação Natural, global de cada modelo, não é relativo
	ASE (%)	<i>Annual Sunlight Exposure</i> (ASE) – Exposição Solar Anual, absoluto, de cada modelo, não é relativo
	ASE blinds (%)	Exposição Solar anual considerando persianas ativas, absoluto, de cada modelo, não é relativo
	UDIa (%)	<i>Useful daylight illuminance</i> (UDI) - Iluminância útil aceitável (a)
	UDIe (%)	Useful daylight illuminance (UDI) - Iluminância útil excessiva (e)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quadro 21 - Métricas e Indicadores para avaliação integrada de Eficiência Energética, Desempenho e Conforto Térmico e Lumínico de fachadas – Avaliação de Ambientes

Software	Indicador	Descrição
Eficiência Energética (EnergyPlus)	CTj-r,a (%)	Carga Térmica (CT) de janela(j) relativa(r) anual(a) da zona térmica: é a variação de CT anual admitida pela janela, em relação a uma zona de mesma orientação de um modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada. A CT adotada é o balanço, entre perdas e ganhos.
Desempenho e Conforto Térmico (EnergyPlus)	PMVh,z (%)	<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i> - Voto Médio Predito: é o percentual anual de horas (h) de atendimento do critério PMV definido pela ASHRAE 55-2017 (PMV = 0,50), da zona térmica (z) em análise.
	MRTmax,r (%)	<i>Mean Radiant Temperature (MRT)</i> ou Temperatura Média Radiante máxima relativa (r): é a variação da MRT da zona, em relação a uma zona de mesma orientação de um modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada.
	DPJz (kWh/m²)	Densidade de Potência de Janela da zona térmica (DPJz) em kWh/m ² é a medida da carga térmica de janela anual dividida pela área da zona térmica na qual a janela está localizada.
	MRTmax (°C)	Temperatura média radiante máxima da zona térmica.
	MRTmax,dif (°C)	Diferença entre a Temperatura média radiante máxima da zona térmica e da zona térmica de mesma orientação do modelo de referência, com menor proteção térmica de fachada
Desempenho Lumínico (Rhino + Climate Studio)	sDA (%)	<i>Spatial Daylight Autonomy (sDA)</i> absoluto, de cada zona / plano de medição, não é relativo
	ASE (%)	<i>Annual Sunlight Exposure (ASE)</i> absoluto, de cada zona / plano de medição, não é relativo
	ASE blinds (%)	Exposição Solar anual considerando persianas ativas, absoluto, de cada modelo, não é relativo
	UDIa (%)	<i>Useful daylight illuminance (UDI)</i> - Iluminância útil aceitável (a) de cada zona / plano de medição
	UDIe (%)	<i>Useful daylight illuminance (UDI)</i> - Iluminância útil excessiva (e) de cada zona / plano de medição

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2.5 Ranking de alternativas de projeto

Antes de apresentar o indicador definido como ranking de alternativas de projeto, destaca-se que o método de avaliação multiobjetivo e tomada de decisão, proposto nesta tese, é baseado em uma técnica visual e colaborativa. Esta técnica, desenvolvida no âmbito desta tese, é a base da ferramenta-metodológica P-Balance. Nela, a seleção de resultados de indicadores a partir da classificação cromática dos valores apresentada neste capítulo, assume o papel central do processo de avaliação, permitindo que a hierarquia entre os aspectos avaliados seja definida de forma colaborativa pela equipe de projeto, e simultaneamente à tomada de decisão.

Foi definida uma nota global, determinada com base nos resultados de cada indicador, conforme demonstrado nas fórmulas abaixo. Esta nota, denominada Ranking de Alternativas de Projetos, é constituída de uma média aritmética simples. É um indicador que tem uma função complementar no método de seleção proposto. Estabelece uma referência numérica, que representa de forma resumida a relação entre as alternativas paramétricas de fachada analisadas. O cálculo não reflete a hierarquia entre aspectos analisados, que neste método é determinado de forma dinâmica pela equipe de projeto durante o processo de seleção.

Avaliação Global do Edifício:

1. Se $CTr\ total < 0$ ou, se $sDA \geq 40\%$ ou, se $ASE \leq 10\%$ ou, se $ASE\ blinds \leq 5\%$:

$$Nota\ Modelo = (|CTr\ total| + |CONr| + |CAEr| + |DPJa,r| + |PMVh,a| + |sDA| + (1 - |ASE|) + (1 - |ASE\ blinds|) + (1 - |ASE|) + |UDIa| + (1 - |UDIe|)) / 10$$

Exemplo:

Modelos	CTr total (%)	CONr (%)	CAEr (%)	DPJa,r (%)	PMVh,a (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking
W65-BT-V27-P71	-48.0%	-38.1%	-33.3%	-98.1%	99.1%	95.1%	0.1%	0.0%	64.1%	8.2%	76.7

2. Se $CTr_{total} \geq 0$ ou, se $sDA < 40\%$, ou se $ASE > 10\%$ ou, se $ASE_{blinds} > 5\%$:

Nota Modelo = 0

Exemplo:

Modelos	CTr total (%)	CONr (%)	CAEr (%)	DPJa,r (%)	PMVh,a (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking
W65-SB-V61-Pext	-28.3%	-24.4%	-21.6%	-59.4%	96.3%	100.0%	31.5%	0.0%	53.1%	39.8%	0.0

Avaliação por Ambiente:

1. Se $CTj-r,a < 0$ ou, se $sDA \geq 40\%$ ou, se $ASE \leq 10\%$, se $ASE_{blinds} \leq 5\%$:

Nota Ambiente = $(|CTj-r,a| + |MRTmax,r| + |PMV| + |sDA| + (1 - |ASE|) + (1 - |ASE_{blinds}|) + (1 - |ASE|) + |UDI_a| + (1 - |UDI_e|)) / 8$

Exemplo:

	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-S-W65-BT-V44-P71	-159%	-11%	90%	100%	0%	0%	77%	7%	91.3

2. Se $CTj-r,a \geq 0$ ou, se $sDA < 40\%$, ou se $ASE > 10\%$ ou, se $ASE_{blinds} > 5\%$:

Nota Ambiente = 0

Exemplo:

	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-O-W65-SB-V61-Pext	-59%	-12%	92%	100%	78%	0%	39%	60%	0.0

3.2.3 Modelagem, Simulação e Coleta de Dados de Saída

O procedimento de Co-simulação demanda modelos exclusivos para Simulação Termo-energética e Simulação de Iluminação Natural, garantindo que todas as características dimensionais da arquitetura sejam idênticas nos dois modelos. A depender das limitações dos softwares, a modelagem de sistemas de operação e materiais podem demandar ajustes para permitir a melhor aproximação entre as simulações.

Iniciou-se pela revisão e atualização do modelo para simulação termo-energética (**Quadro 22**), para posterior elaboração de um modelo compatibilizado para simulação de iluminação natural (**Quadro 23**).

Após a simulação, são coletados os dados de saída das simulações, fornecidos pelos softwares por meio de planilhas de resultados, e mapas, no caso da simulação de iluminação natural, para posterior sistematização em banco de dados de desempenho.

Quadro 22 – Etapas de revisão e atualização do Modelo para Simulação Termo-energética

Etapa	Descrição
1	Atualização de arquivo climático: BRA_SP_Sao.Paulo-Congonhas.AP.837800_TMYx.2004-2018
2	Ajuste do WWR mínimo: O WWR mínimo do modelo de 2016 era de 30% originalmente. A geometria – altura de peitoril e verga superior da janela - foi revisada para que o mínimo seja de 40% (Figura 17)
3	Refinamento da modelagem de brises (Figura 29): Os brises do modelo de 2016 eram placas horizontais. Esta modelagem foi revisada para não penalizar o aproveitamento de iluminação natural. Os dois modelos estão com geometria totalmente compatibilizada.
4	Revisão do sistema de iluminação artificial, com inclusão da dimerização: Detalhes do sistema dimerizado estão apresentados na seção 3.1.5.
5	Inclusão de Persianas: Materiais e Sistema de Controle. Detalhes apresentados na seção 3.1.3.
6	Revisão de Modelagem de Vidros – Calculados pela NFRC: Ver seção 3.1.2 e Apêndice II

7	<p>Seleção de Saídas de Simulação (<i>Outputs</i>) para avaliação de conforto térmico:</p> <p>Foram selecionados os outputs que permitiram calcular os indicadores apresentados na seção 3.2.2</p>
----------	--

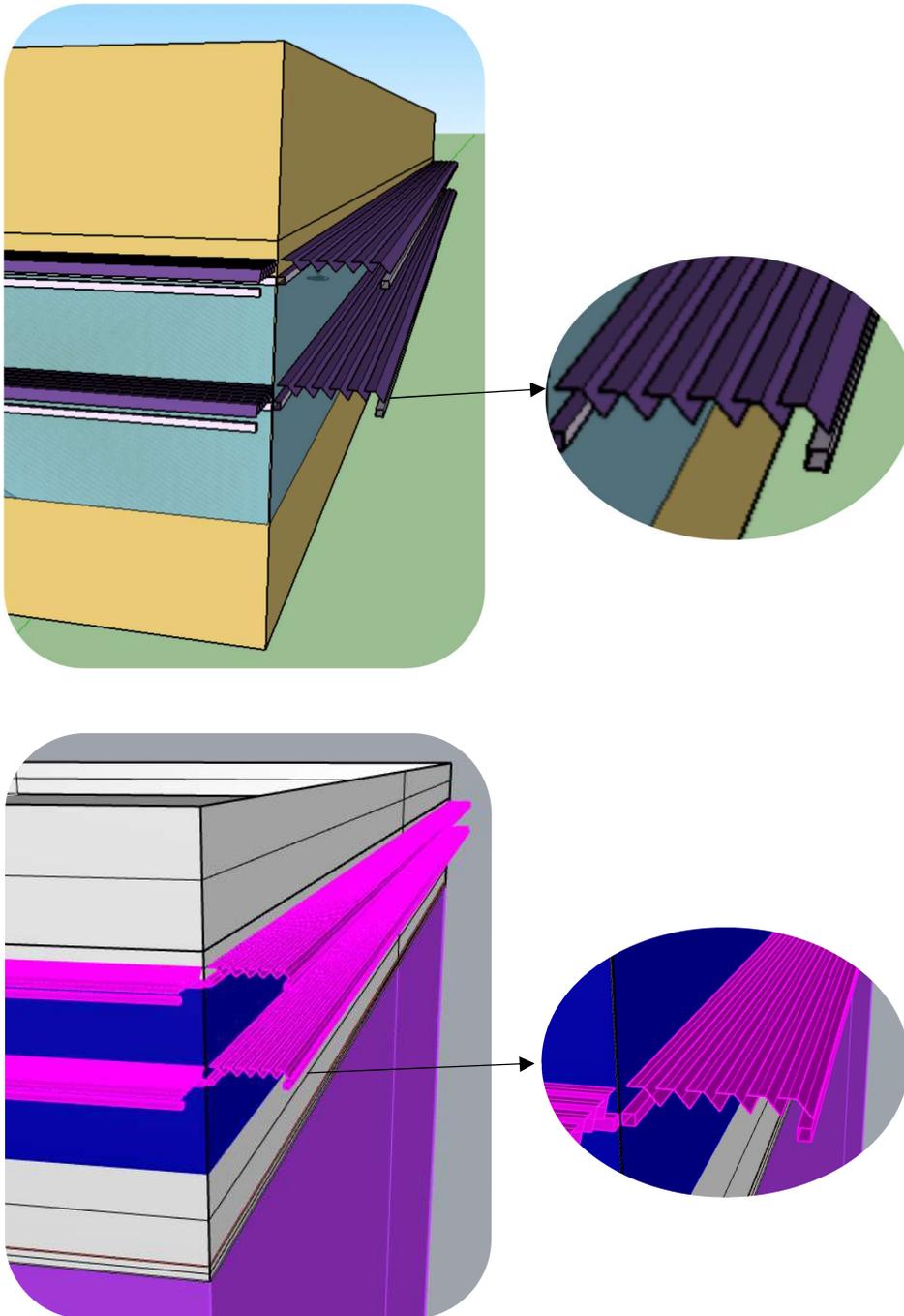
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quadro 23 - Etapas de elaboração do Modelo para Simulação de Iluminação Natural

Etapa	Descrição
1	<p>Elaboração da Geometria:</p> <p>Idêntica ao modelo termo-energético: Arquitetura, WWR, Brises.</p>
2	<p>Modelagem de parâmetros de simulação e planos de medição:</p> <p>Workflow de simulação: Custom (conforme norma IES-LM-83-12)</p>
3	<p>Modelagem de materiais:</p> <p>Conforme requisitos do software.</p>
4	<p>Modelagem de Persianas:</p> <p>Seleção de materiais do banco de dados, que melhor representam os materiais adotados na simulação termo-energética; Schedule de operação anual extraído da simulação termo-energética, seguindo procedimento da norma IES-LM-83-12.</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

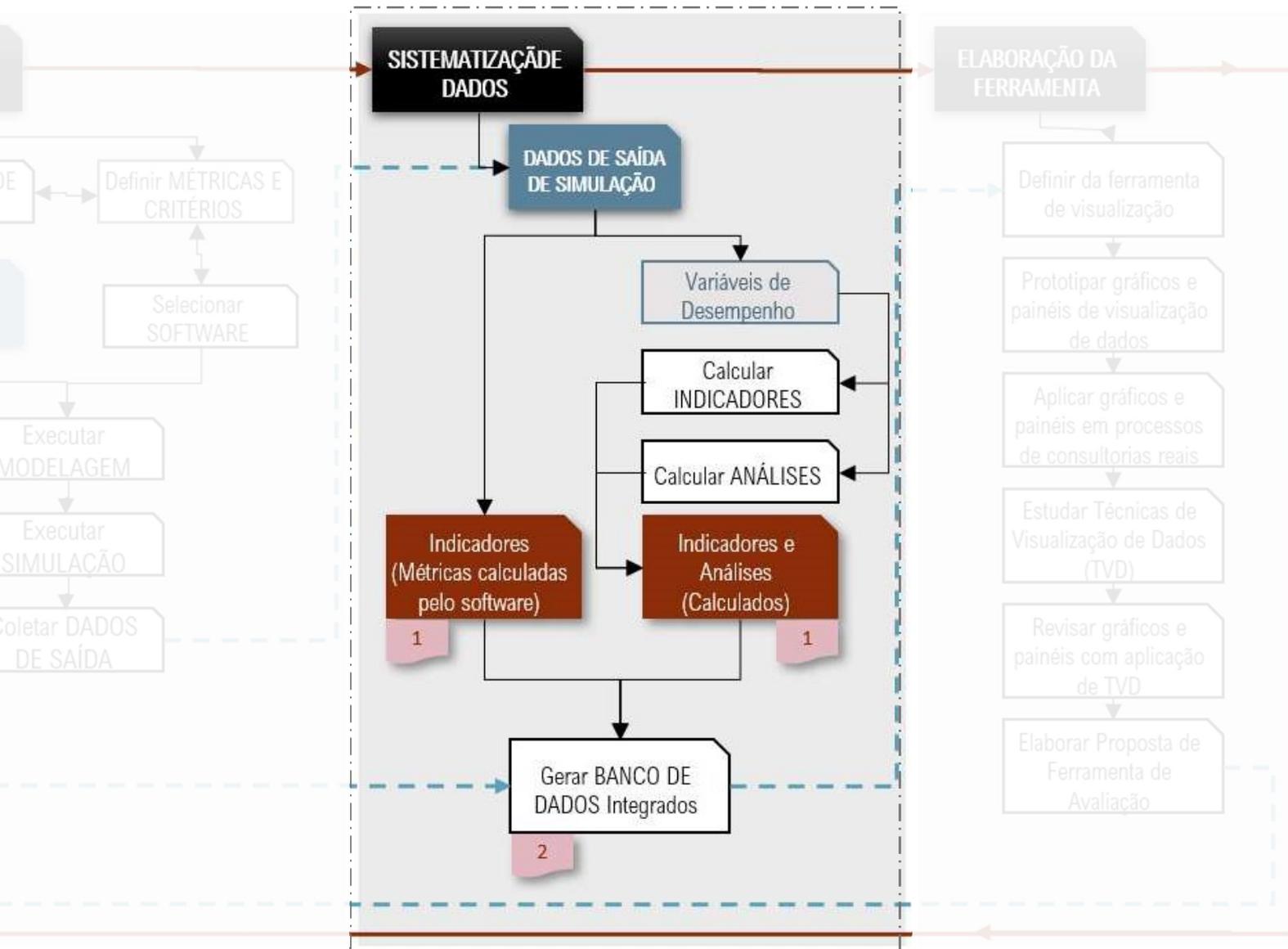
Figura 29 – Detalhes da modelagem do Brise para Modelo WWR 40% (W40) - Brise Total (BT) – Saídas de visualização do Modelo Termo-energético, SketchUp (acima) e Iluminação Natural, Rhino (abaixo)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.3 Etapa 3: Sistematização de Dados

Figura 30 - Etapa 3 do Fluxograma do Método: Sistematização de Dados

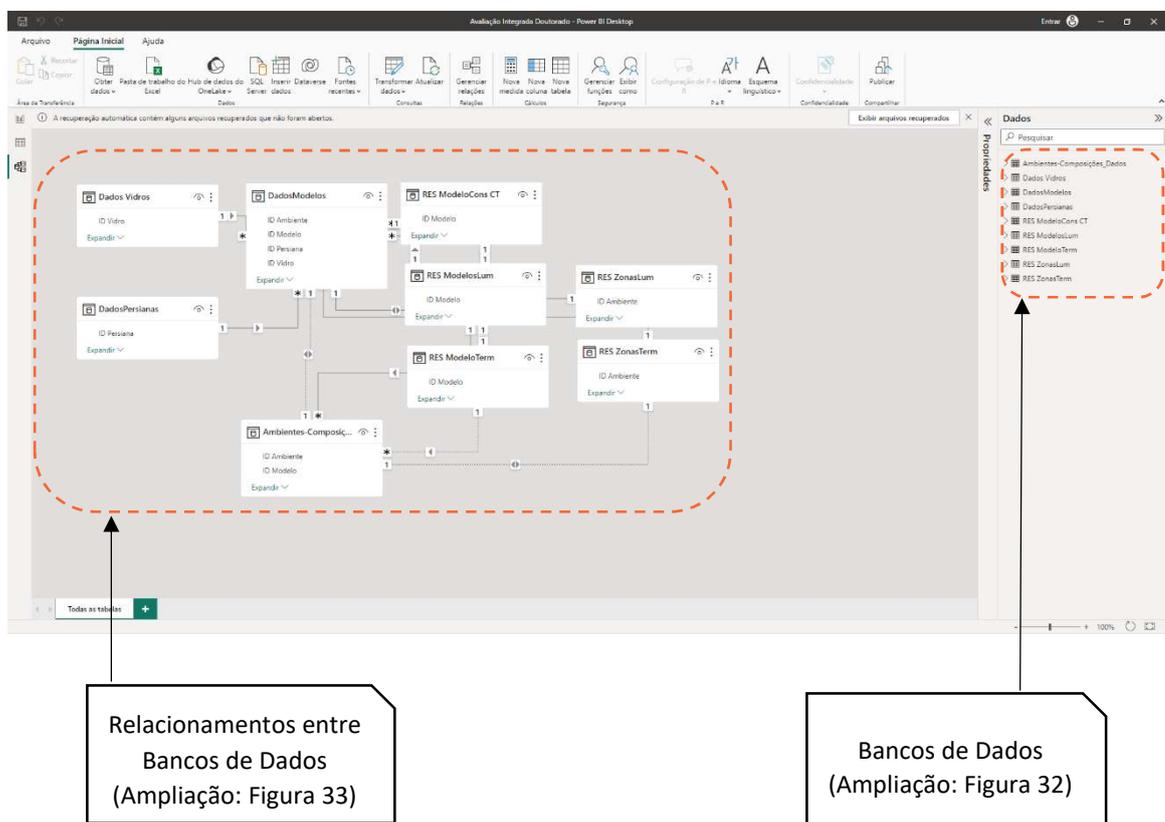


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A sistematização dos dados é um grupo de processos que resulta na geração do Banco de Dados Integrados, necessário para a elaboração da Ferramenta de Visualização. Os cálculos realizados para obtenção dos Indicadores calculados estão apresentados na seção 3.2.2.

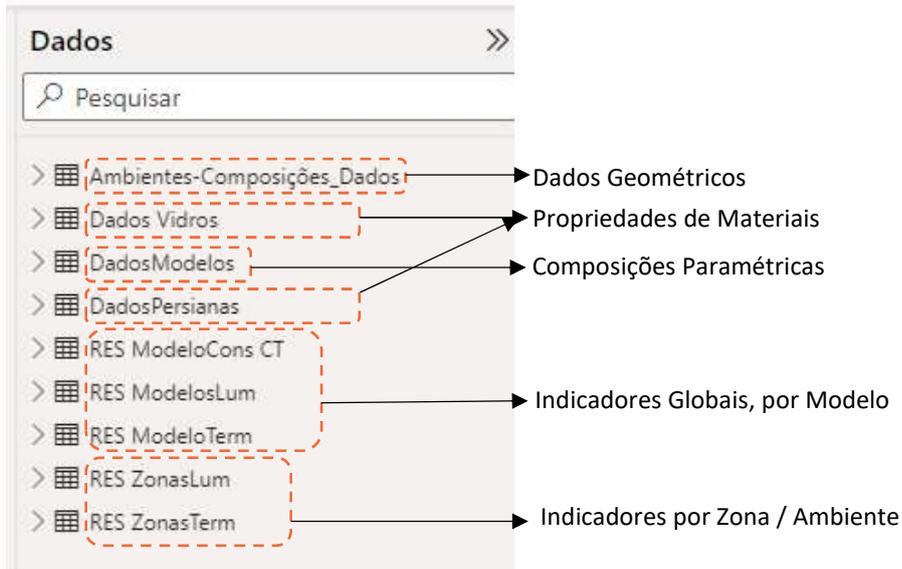
Os Bancos de Dados foram gerados no Excel e carregados na Ferramenta de Gerenciamento de Bases de Dados e Visualização Power BI Desktop, na Etapa 4, na qual também foram gerados protótipos de gráficos e painéis de visualização, em Excel e Power BI. A ferramenta Power BI disponibiliza uma tela de relacionamentos que permite uma visualização resumida das relações entre os bancos de dados, As **Figuras 31, 32 e 33** a seguir, demonstram os bancos de dados e seus relacionamentos, que são criados com base em dados de identificação de modelos, ambientes e materiais, comuns nas diversas bases, para permitir a integração e a geração das visualizações.

Figura 31 – Tela de Exibição do Modelo – Power BI Desktop



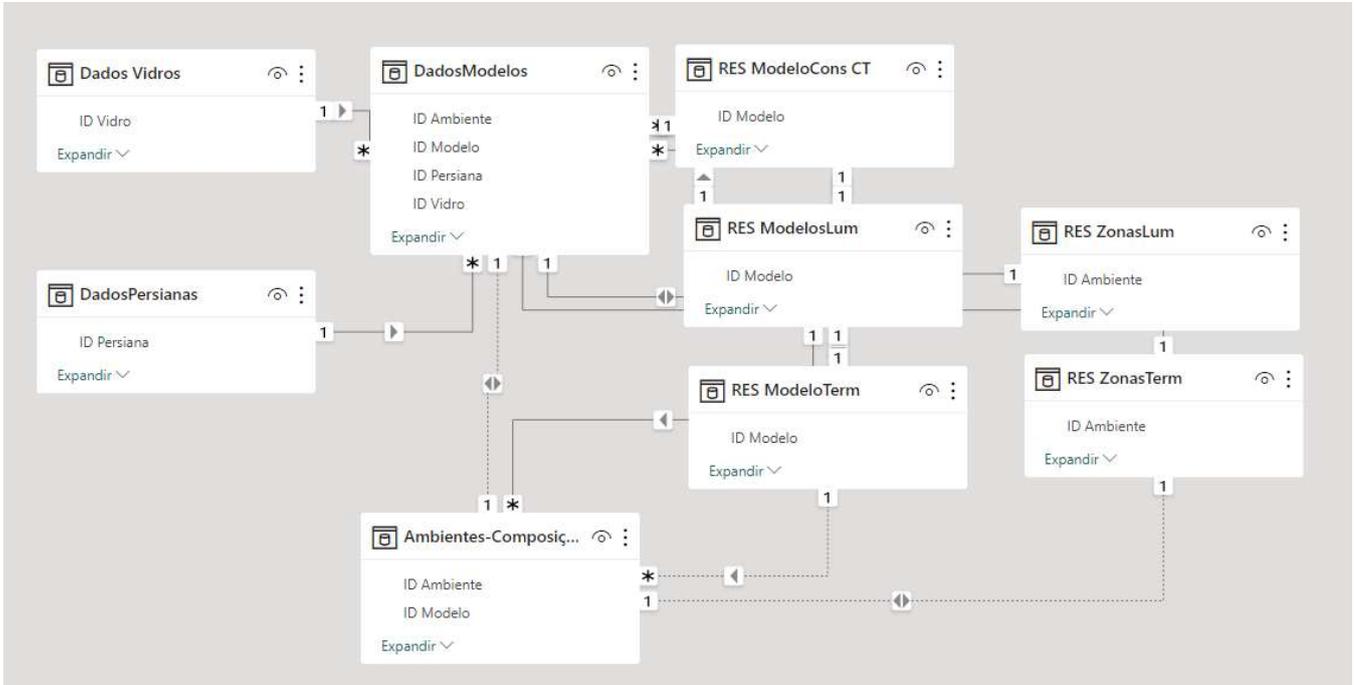
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 32 – Bancos de Dados – Power BI Desktop



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

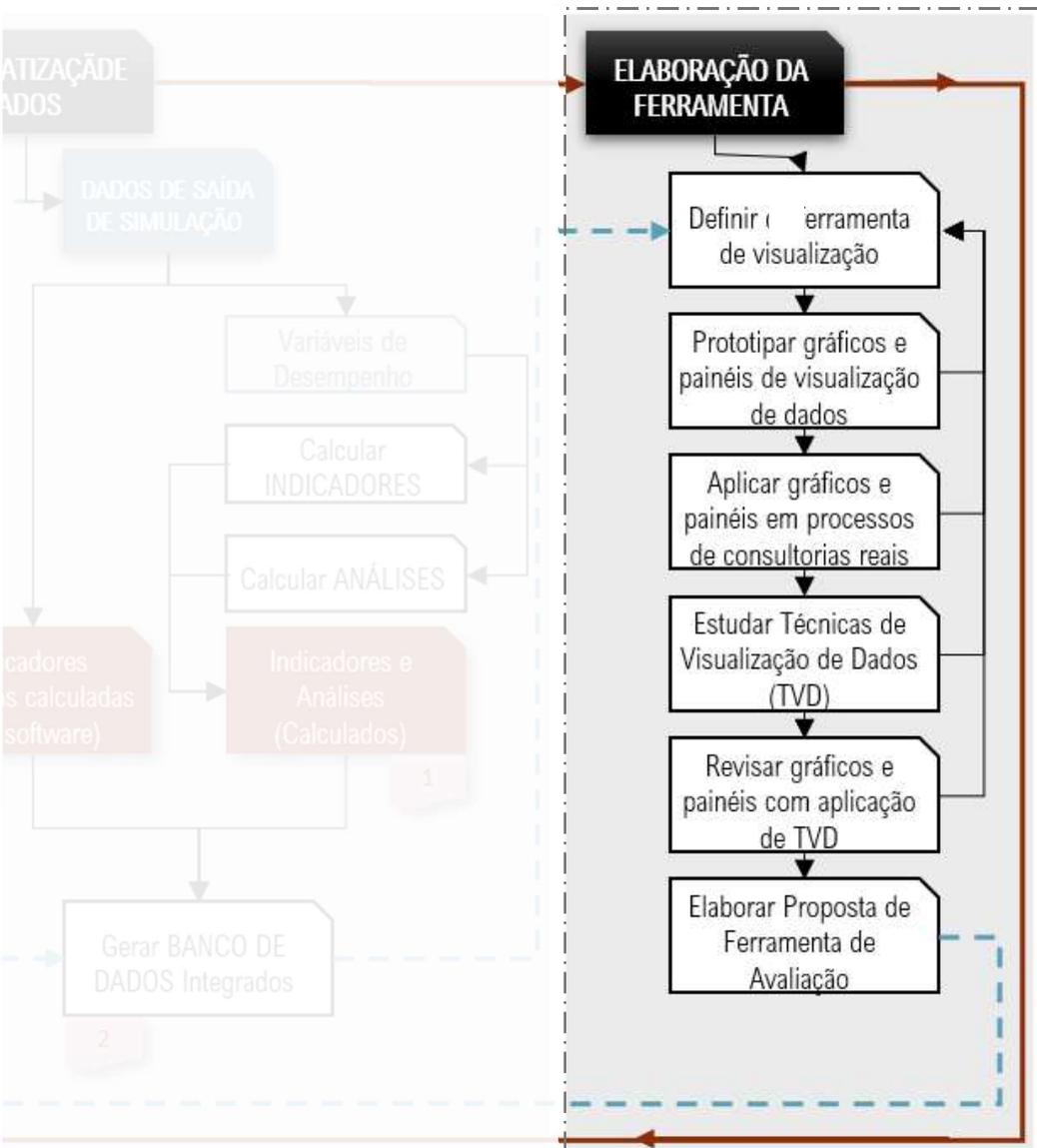
Figura 33 – Relacionamentos entre Bancos de Dados



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

3.4 Etapa 4: Elaboração da Ferramenta de Visualização

Figura 34 - Etapa 4 do Fluxograma do Método: Elaboração da Ferramenta de Visualização



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os processos de elaboração da ferramenta, apresentados nesta Etapa 4, são interativos, não sequenciais, significando que um processo posterior leva à revisão de processos anteriores (**Figura 34**).

Conforme apresentado anteriormente, na Etapa 3, a elaboração do banco de dados foi desenvolvida no Excel. Para o desenvolvimento da ferramenta P-Balance, foram selecionados

dois softwares: Excel e Power BI Desktop, ambos da Microsoft. O Excel é um software acessível, amplamente utilizado por simuladores para geração de planilhas de resultados e gráficos de apoio ao processo de análise e avaliação de desempenho de edifícios. Tem um potencial limitado em termos de quantidades de dados processados, opções de interatividade e navegação. O Power BI, é um gerenciador de bases de dados que permite consultas de resultados em formato gráfico. A criação de painéis de visualização e análise, com atualização automática de resultados durante a consulta, permite melhor navegação e interação mais ágil com grandes conjuntos de dados, maiores do que o limite do Excel. Atualmente, um inconveniente do uso deste software em um ambiente prático de consultoria, é que profissionais ainda não estão familiarizados com o mesmo, demandando um tempo de aprendizagem e acomodação profissional e metodológica, ainda que a consulta seja bastante intuitiva.

A ferramenta metodológica P-Balance proposta nesta tese, contempla o requisito de que ela seja abrangente em termos de utilização, explorando potenciais de softwares acessíveis. É preferencial o uso de um software que já seja de domínio de profissionais ativos, tal como o Excel, para proporcionar uma absorção imediata da ferramenta, sem com isso excluir-se a possibilidade de uma rápida transição para um software com mais recursos de visualização, interação e navegação, como o Power BI. Além disso, conforme será demonstrado ao longo desta seção, uma limitação específica para o desenvolvimento do gráfico P-Balance (**Figura 40**) no software Power-BI, levou à finalização da ferramenta no Excel.

Protótipos de gráficos e painéis de visualização (*dashboards*) elaborados no Excel e Power BI foram aplicados em consultorias reais. Este processo de experimentação prática permitiu a avaliação do potencial de apoio ao processo de consultoria e comunicação com clientes, com base em 4 requisitos principais. Os requisitos e os resultados da experimentação são apresentados a seguir.

Requisito 1: Gerar um gráfico que permita a visualização rápida e simultânea de diversas métricas de desempenho, para diversas alternativas de projeto representadas pelos resultados de desempenho de modelos paramétricos;

Requisito 2: Auxiliar na comunicação entre consultores (especialistas), clientes e partes interessadas do projeto (não especialistas), de modo a ampliar a compreensão de *trade-offs* entre métricas de desempenho por não especialistas, reduzir o

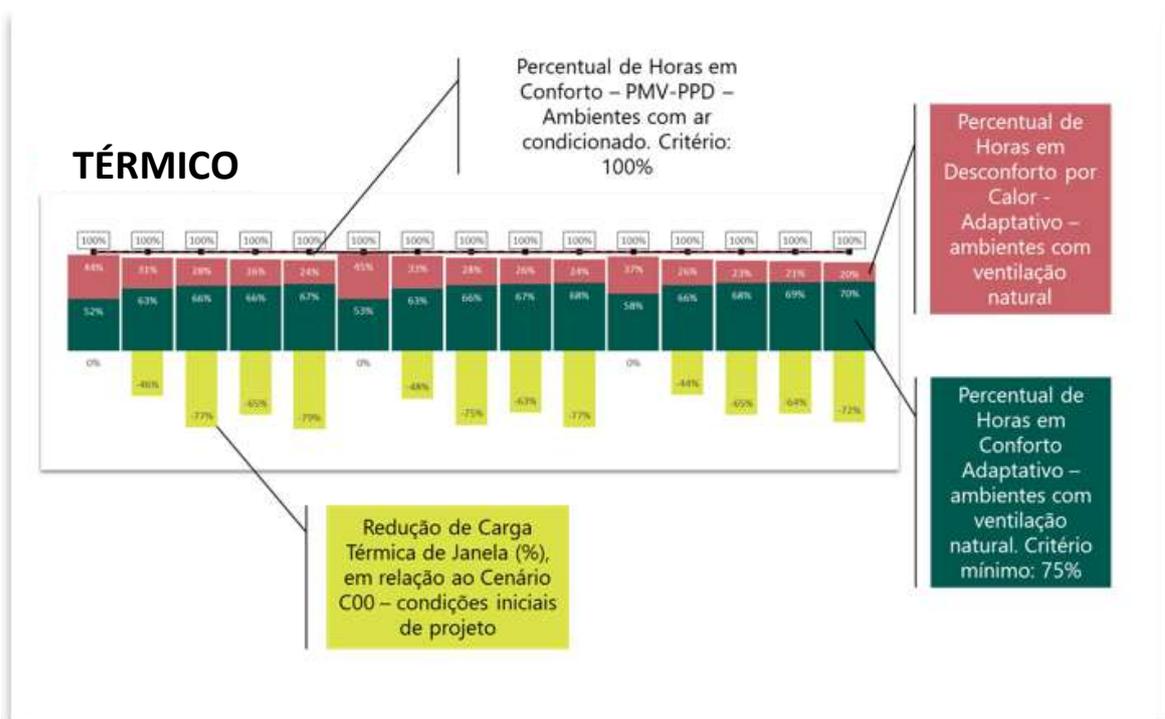
tempo de avaliação por especialistas, e conduzir a um processo de decisão no qual todos os envolvidos têm uma participação ativa;

Requisito 3: Promover maior uniformidade e assertividade no processo de avaliação por especialistas, uma vez que a ferramenta define fluxos claros de alimentação de dados e etapas de análise;

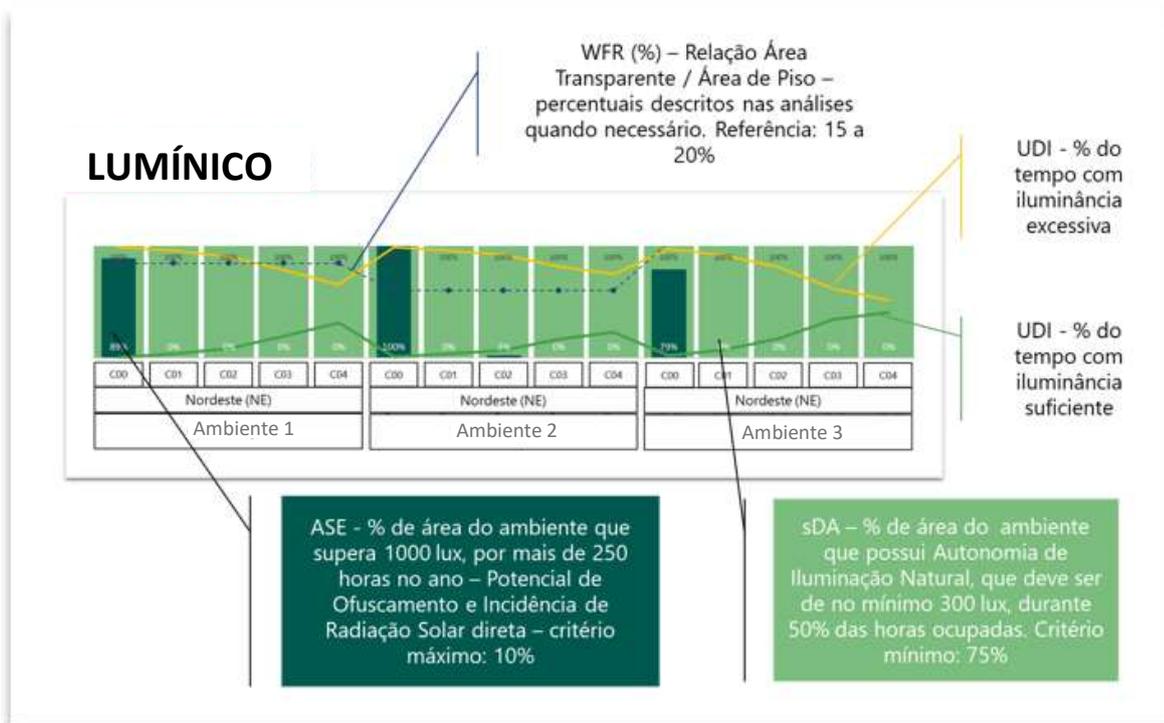
Requisito 4: Reduzir o tempo de elaboração e apresentação de relatórios.

A seguir, são apresentadas 3 versões da visualização – V0, V1 e V2 - para avaliação simultânea testados em consultorias reais (**Figuras 35 a 39**). Estas visualizações foram aplicadas em 6 projetos reais, privados. Detalhes e informações que permitam sua identificação estão ocultos.

Figura 35 – Gráfico Versão V0: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, e eficiência energética



Elaborado pela autora (2020)

Figura 36 - Gráfico Versão V0: Análise simultânea de indicadores de desempenho lumínico

Elaborado pela autora (2020)

O gráfico apresentado na **Figura 35** permite a visualização simultânea de 3 indicadores de desempenho e conforto térmico, e 1 indicador indiretamente relacionado à eficiência energética, a redução de carga térmica de janela. O gráfico da **Figura 36**, apresenta 4 indicadores de desempenho e conforto lumínico, e 1 indicador dimensional - WFR, para permitir verificar a relação entre os indicadores e variações geométricas da arquitetura, especificamente a relação entre área transparente e área de piso. Estes gráficos foram elaborados para avaliação de desempenho de fachadas de edifícios residenciais e institucionais, com premissa de climatização baseada em ventilação natural ou ar-condicionado, o que definiu a análise de indicadores de conforto para as duas condições. Esta tipologia de ocupação demanda a análise de alternativas de cenários por ambiente. Os cenários estudados, são 5 diferentes composições de fachada, com variações de tipos de vidro, persianas, brises e acabamentos externos.

A forma de apresentação dos gráficos, conforme **Figura 37**, permite a visualização simultânea de todos os indicadores considerados na avaliação de desempenho, para os cinco cenários testados, para cada ambiente. É possível perceber o efeito de diferentes combinações de tipos de vidro e elementos de proteção solar, presentes nas alternativas de

fachadas representadas pelos cenários C01 à C04, para cada um dos ambientes orientados à Nordeste neste caso.

Figura 37 – Visualização Versão V0, para avaliação simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico e eficiência energética



Elaborado pela autora (2020)

Como ler este gráfico:

1. Focar a visualização no eixo vertical, referente a cada cenário, analisar todos os indicadores e suas relações;
2. Focar a visualização no bloco referente a cada ambiente, analisando as variações dos indicadores;
3. Analisar as variações entre cenários e entre ambientes.

Para os ambientes apresentados, o gráfico permite concluir que o C04 é a melhor alternativa, com maiores reduções de carga térmica de janela, acompanhado por maior potencial de conforto com ventilação natural. Aumenta também o percentual de horas com iluminância suficiente, enquanto diminui o de horas com iluminância excessiva.

A adoção de indicadores alternativos, não usualmente considerados na prática de consultorias, possibilitou uma análise mais assertiva, conforme explicações abaixo:

- O percentual de redução de carga térmica auxilia na análise do impacto do desempenho térmico devido à sua maior sensibilidade às variações entre cenários. O indicador PMV-PPD, que poderia também ser adotado para avaliar indiretamente a eficiência energética, não se demonstra sensível às variações de composição de fachada estudadas – a seção 3.2.2.2 apresenta as questões associadas ao indicador;
- Do mesmo modo, os indicadores de UDI são mais sensíveis às variações de cenários de fachada, do que indicadores de sDA e ASE, sendo necessária sua utilização no processo de análise e avaliação dos cenários.

É importante destacar a importância de selecionar indicadores adequados para as avaliações, além do foco nas formas de visualização para identificação de padrões e *trade-offs*. Deve ser facilitada a comunicação dos resultados aos não especialistas, e os indicadores devem permitir uma análise segura, o que confere maior sucesso à consultoria em seu objetivo de orientar o projeto. Quando apenas indicadores pouco sensíveis às variações paramétricas são apresentados, tomadores de decisão não especialistas tendem a julgar que as alternativas não possuem impacto significativo no desempenho, enquanto especialistas defendem a adoção de alternativas com maior sombreamento como neste caso, tendo dificuldade para justificar sua defesa, tanto com base nos dados numéricos, quanto visualmente.

Em um exemplo prático vivenciado pela autora, os resultados de PMV-PPD variavam entre cenários, do menos sombreado para o mais sombreado, em apenas 2%, enquanto o resultado médio para o indicador era de 98%. Assim, os resultados ficavam entre 96% e 100%, estando todos acima do critério de 90% estabelecido naquela análise. Para o não especialista, essa variação não justifica por exemplo, a adoção de uma solução de projeto com maior nível de proteção solar, que geralmente requer um maior investimento inicial. Outro indicador, como variação de temperatura radiante ou fluxo de calor, poderia ser mais eficiente em demonstrar o impacto de soluções eventualmente mais caras, mas que apresentam melhor custo-benefício.

Observa-se, que situações como esta usualmente geram insegurança técnica, resultando em demandas de revisão de simulações e análises, afetando negativamente a

viabilidade econômica do serviço de consultoria, podendo levar à desqualificação técnica de profissionais, empresas e até mesmo do processo de consultoria em geral.

O gráfico de visualização simultânea tem um papel decisivo na avaliação integrada por todos os envolvidos no processo de consultoria. Ao especialista, fica definido um fluxo padronizado de análise por meio das etapas de visualização, o que garante maior uniformidade e controle de qualidade de processos, entre diferentes profissionais em uma mesma equipe, por exemplo.

A **Figura 38** apresenta a Versão V1 do Gráfico de análise simultânea. Este gráfico foi desenvolvido para uma consultoria de desempenho de fachada de um projeto de edifício de escritórios, com planta de pavimento tipo sem compartimentações, para o qual foi realizada uma análise global do edifício, e não por ambientes. Neste caso específico, o projeto tinha uma definição preliminar de tipo de vidro, WWR e não considerava o uso de dispositivos de sombreamento como persianas ou brises. O cenário C01, é a configuração de fachada proposta pelo projetista. Um cenário com menor proteção solar da fachada foi definido para o estudo – C00 - e 4 cenários com maior proteção solar, considerando persianas, e brises apenas na fachada mais crítica – C05. Um cenário referencial – ref - foi estabelecido, com base nos melhores resultados de cada indicador entre os cenários estudados. Este referencial representa a hipótese de melhor desempenho para cada indicador, entre os resultados obtidos pelos cenários.

A visualização neste caso é composta por dois elementos:

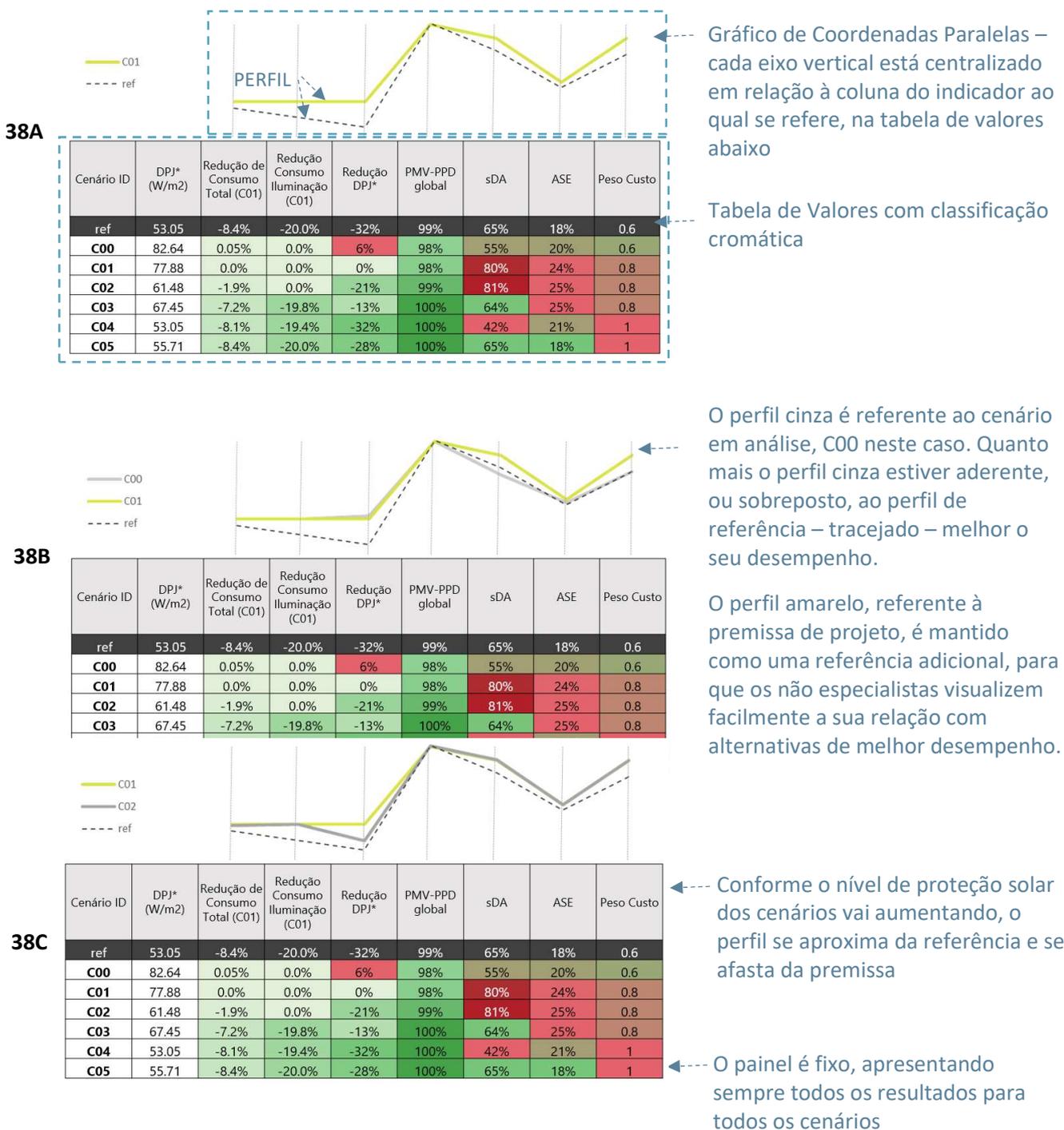
- Um gráfico tipo coordenadas paralelas, que permite a formação de um perfil característico para cada cenário;
- Uma tabela que expressa numericamente os valores dos indicadores e uma classificação cromática, baseada em uma variação gradual entre o verde e o vermelho, sendo verde a cor que representa os níveis de atendimento de critérios de desempenho, e vermelho, o não atendimento.

A função gráfica do perfil é permitir identificar, de forma rápida – não atenta, os *trade-offs* entre indicadores em cada cenário. Neste caso, os resultados foram apresentados ao cliente por meio de uma apresentação em Power-point. Para conferir um caráter dinâmico aos gráficos, cada cenário foi apresentado em uma página subsequente, que conferiu

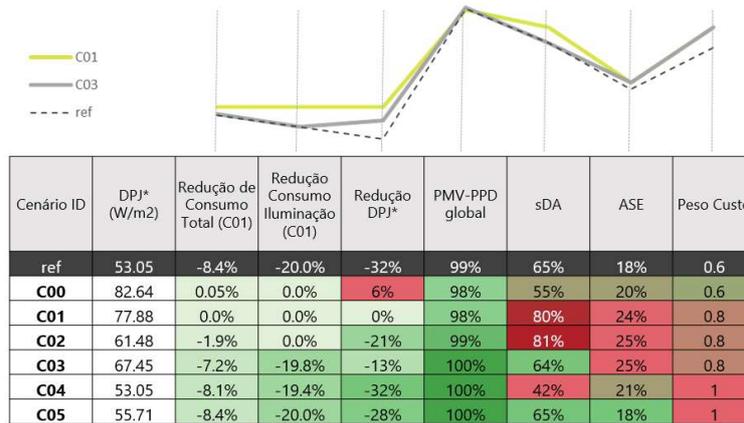
movimento ao gráfico conforme o avanço das páginas. Este simples recurso de visualização reforça a percepção de variação entre alternativas de fachada, devido ao aparente movimento entre os perfis. A observação da **Figura 38G** permite perceber como se dá o movimento do perfil entre as duas referências.

Os elementos da visualização e a estratégia de avaliação e comunicação são apresentadas nas **Figuras 38A à 38F** abaixo.

Figura 38 – Visualização Versão V1: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico, eficiência energética e nível de investimento inicial



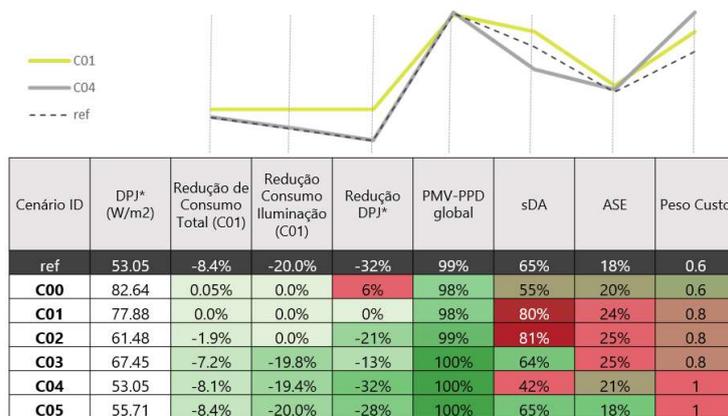
38D



Conforme o nível de proteção solar dos cenários vai aumentando, o perfil se aproxima da referência e se afasta da premissa

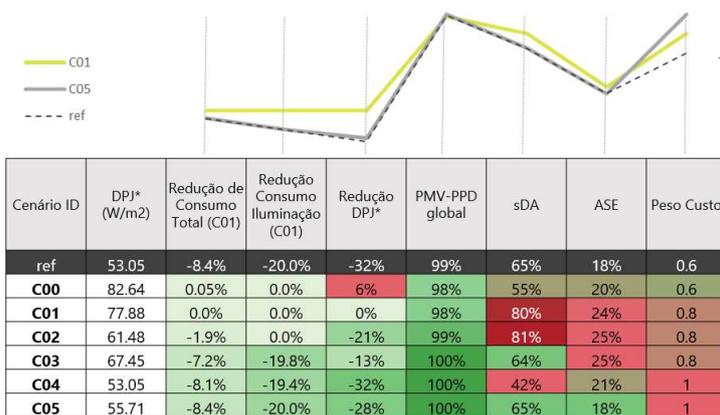
As cores atribuídas aos valores, formam um mapa de calor, que permite uma visualização pré-ativa, ou seja, rápida.

38E



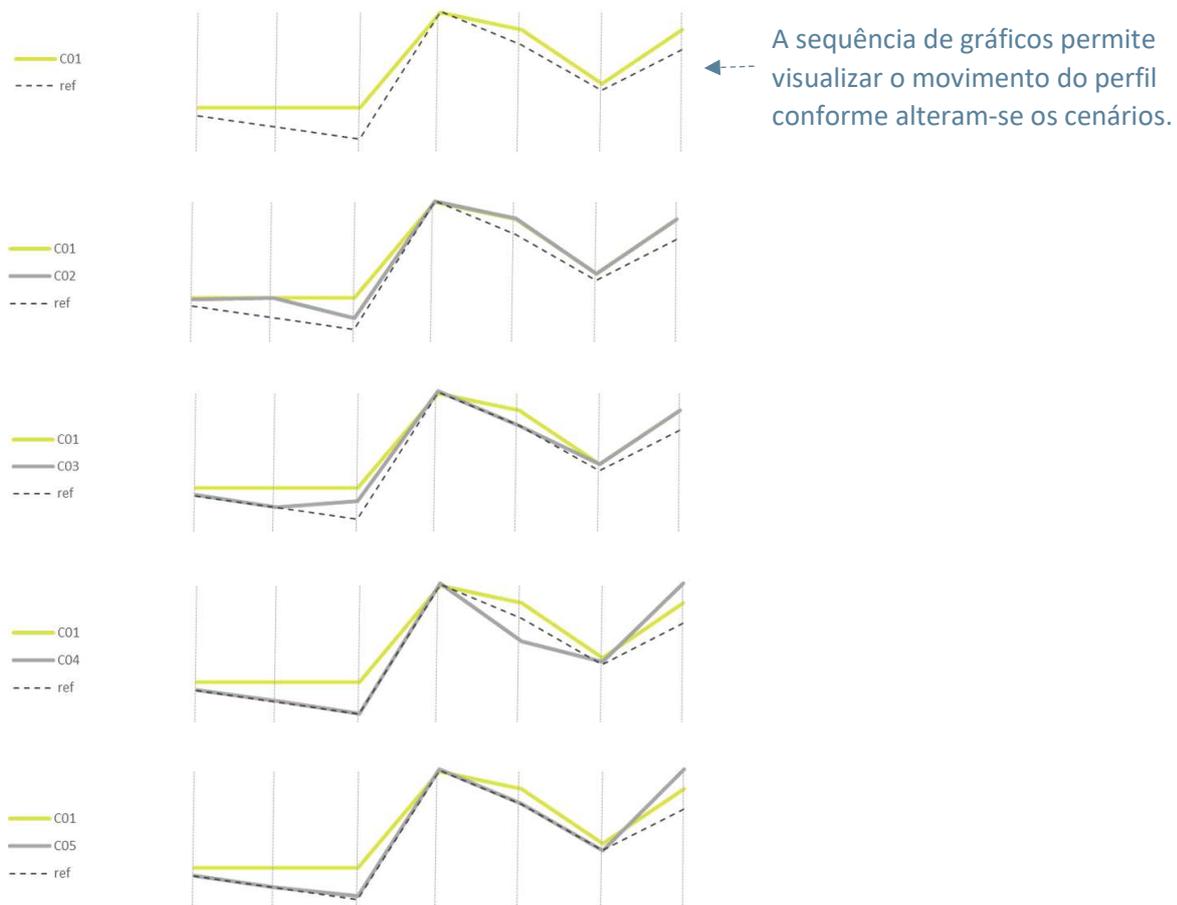
A visualização pré-ativa baseada nas cores funciona como um guia, que destaca valores positivos e negativos para o desempenho do cenário em análise.

38F



O cenário C05 apresentou o melhor desempenho neste caso, exceto pelo indicador de custo inicial. A visualização da classificação cromática dos valores e a sobreposição do perfil à referência, confirmam de maneira inequívoca, a recomendação da consultoria para adoção desta alternativa, em termos de desempenho.

38G



Elaborado pela autora (2020)

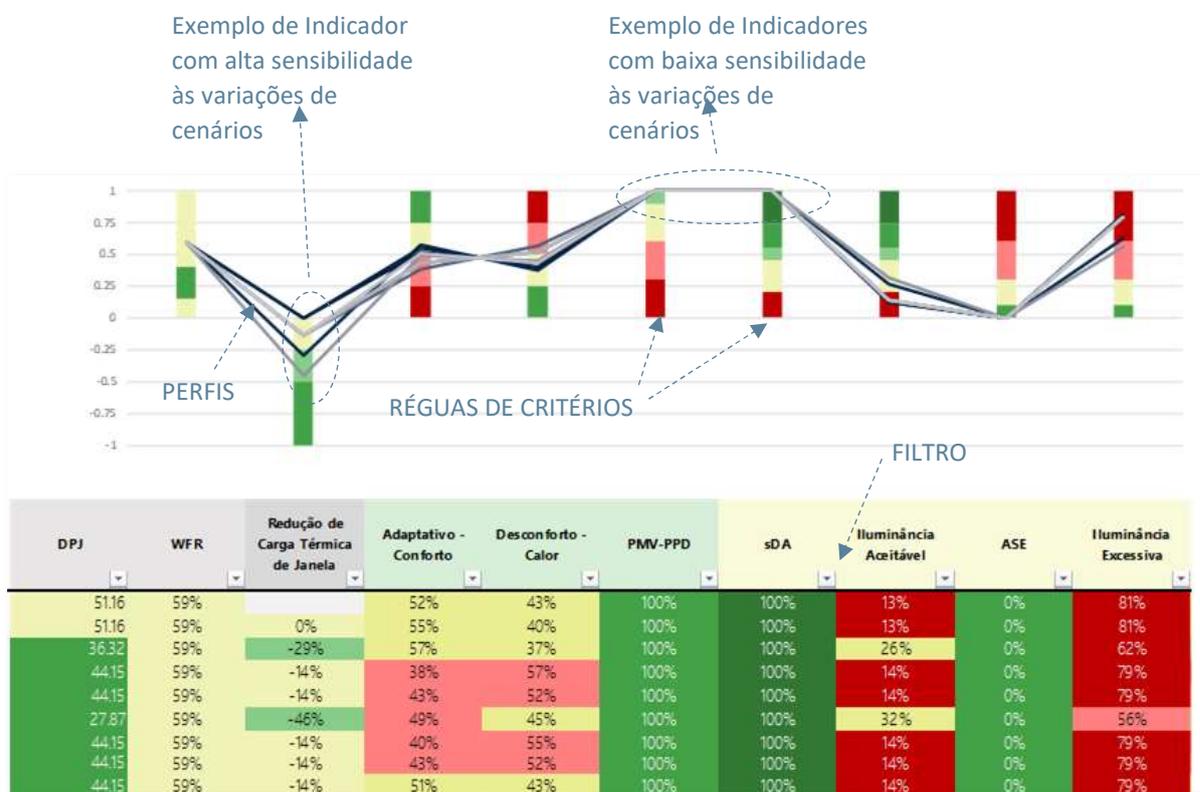
A **Figura 39** a seguir, apresenta o Gráfico para análise Simultânea em sua Versão V2. As versões anteriores – V0 e V1, foram desenvolvidas para possibilitar análises por ambiente e análise global do edifício, respectivamente. A Versão V2 adotou uma versão aprimorada da V1, considerando a análise por ambiente. Esta versão foi elaborada para um projeto complexo, com várias tipologias de uso, variações de fachada e orientações. Neste projeto foram estudados 9 cenários, com variações de tipos de vidros, persianas e posição de persianas – interna ou externa.

Os mesmos elementos formam esta visualização: o gráfico de coordenadas paralelas e a tabela de valores classificados. No gráfico de coordenadas paralelas foram acrescentadas as régua de critérios, que permitem a visualização pré-atentiva do comportamento geral de atendimento dos critérios de desempenho definidos. Os perfis dos cenários analisados,

permitem identificar quando algum indicador tem grande variação, sendo este indicador mais sensível às variações de composição de fachadas, como no caso da Redução de Carga térmica de janela, ou se o indicador não é sensível, como no caso dos indicadores PMV-PPD e sDA.

Assim como nos casos anteriores, foi utilizado o recurso de gráfico dinâmico do Excel. Para este projeto foi adicionado o recurso de filtro na Tabela de valores. O uso destes recursos permite o direcionamento da análise, selecionando apenas ambientes de uma determinada orientação por exemplo, ou ambientes específicos, pela segmentação de dados associada à tabela dinâmica, base do gráfico dinâmico. O filtro da coluna, permite excluir por exemplo, desempenhos inferiores ao critério determinado, classificados como vermelho, rosa e amarelo. A utilização destes recursos pela equipe permite a participação ativa no processo de decisão, de modo que o tomador de decisão tem conhecimento dos *trade-offs* que está aceitando ao longo do processo. No gráfico da figura abaixo, cada linha da tabela e cada perfil representam um cenário, para um mesmo ambiente em análise.

Figura 39 - Visualização Versão V2: Análise simultânea de indicadores de desempenho e conforto térmico, lumínico e eficiência energética



Elaborado pela autora (2020)

No âmbito desta tese, o gráfico de coordenadas paralelas com régua de critérios foi denominado Performance-Balance, ou P-Balance. A ferramenta-metodológica apresentada no Capítulo 4, tem este gráfico como seu elemento central e recebe o mesmo nome. O conceito expresso no nome atribuído ao gráfico, é que ele apresenta o balanço, ou equilíbrio entre indicadores de desempenho, por meio dos perfis. Para os eixos verticais foram fixadas escalas de 0 a 100%, positiva e negativa. Assim, todos os indicadores devem ser ajustados para expressar seus valores em termos relativos ou absolutos, de 0 a 100%. Esta definição da escala reduz a demanda de visualização atenta, uma vez que não é necessária uma análise detalhada de escalas individuais para cada indicador. Este é um dos aspectos que impediu a finalização da ferramenta no software Power BI.

A **Figura 40** demonstra a tela do Power BI com o relatório de avaliação integrada elaborado como protótipo, nesta Etapa 4 do método. Este relatório (**Figura 41**) conta com um gráfico de coordenadas paralelas desenvolvido pela xViz²¹, disponível quando o relatório foi desenvolvido, em 2021. Trata-se de uma visualização externa, não nativa do Power BI, que pode ser incorporada ao software. O Power BI não disponibiliza uma visualização nativa tipo coordenadas paralelas. O gráfico xViz, adotado no protótipo da ferramenta, apresentou limitações que impediram a sua formatação, para replicar o gráfico P-Balance gerado no Excel. A visualização xViz:

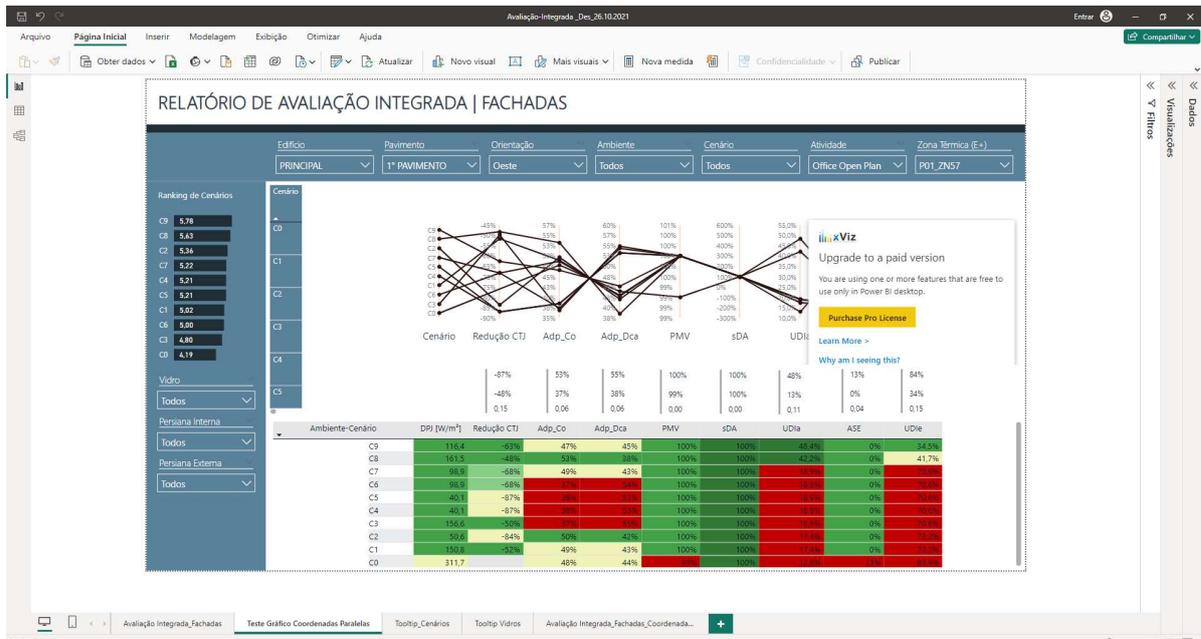
1. Não habilita a configuração das escalas de valores dos eixos verticais. As escalas são geradas automaticamente com base nos valores da base de dados, sem possibilidade de edição. Esta limitação não permite a criação de escalas padronizadas;
2. Não habilita a integração da régua de critérios, o que impede a rápida percepção do comportamento relativo dos indicadores em termos de atendimento dos critérios definidos.

Para superar tais limitações, é necessário o desenvolvimento de uma visualização, que demanda habilidades de programação para Power BI. Para o cumprimento dos objetivos desta tese, o desenvolvimento da Ferramenta em Excel foi considerado suficiente.

²¹ xViz é uma linha de visualizações avançadas para o Microsoft Power BI desenvolvidas por uma empresa privada, chamada Lumel Technologies.

No protótipo do Power BI, ainda na **Figura 41**, identificam-se dois elementos adicionais, componentes da Ferramenta P-Balance: o ranking de cenários e as medidas estatísticas. Estes elementos serão apresentados com base na ferramenta final, no Capítulo 4.

Figura 40 – Tela do software Power BI, com Relatório para Avaliação Integrada, com gráfico de coordenadas paralelas xViz



Elaborado pela autora (2021)

Figura 41 - Relatório para Avaliação Integrada, com detalhe do gráfico de coordenadas paralelas xViz

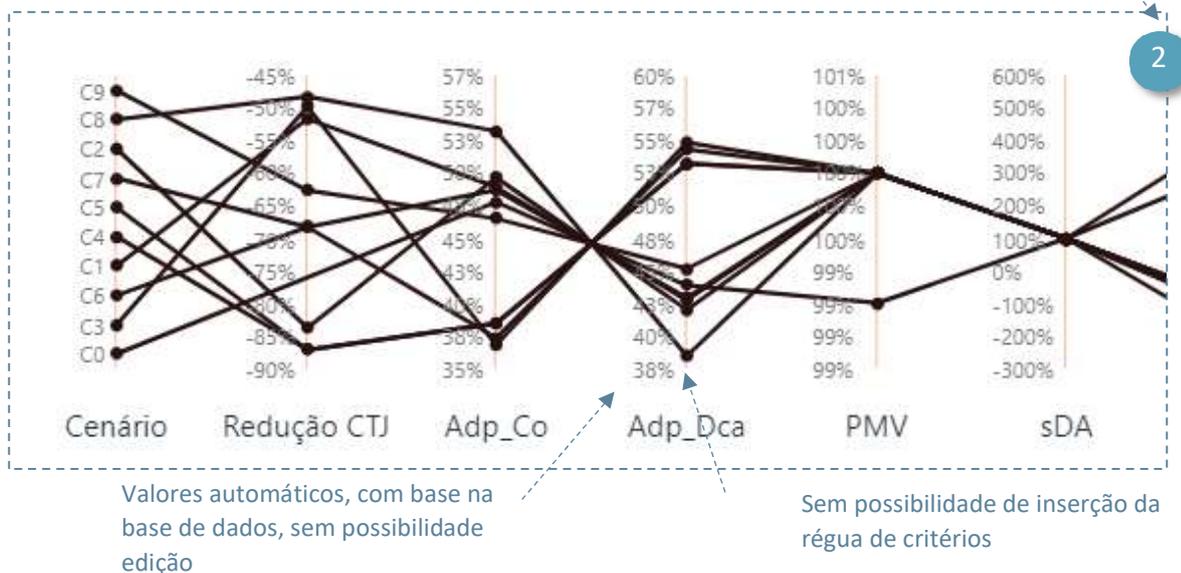


Componente do Relatório:

1. Segmentação de dados para seleção de ambientes a serem analisados;
2. Gráfico tipo Coordenadas Paralelas xViz;
3. Medidas Estatísticas
4. Tabela de Valores Classificados
5. Segmentação de Dados de Parâmetros de Fachada – variáveis dos cenários avaliados
6. Ranking de Cenários
7. Resumo de Cenários

41A

Detalhe do Gráfico de Coordenadas Paralelas



Elaborado pela autora (2021)

Com a aplicação das visualizações apresentadas – Versão V0, V1 e V2 – em consultorias reais, foi possível identificar, de modo qualitativo, o atendimento dos requisitos enunciados para o desenvolvimento desta etapa. Abaixo segue breve relato dos resultados percebidos por participantes da experiência.

Requisito 1: Todas as versões permitem a visualização rápida e simultânea de diversas métricas de desempenho, para diversas alternativas de projeto.

Requisito 2: As visualizações permitiram uma comunicação mais efetiva entre consultores (especialistas), clientes e partes interessadas do projeto (não especialistas). Os clientes tiveram a oportunidade de realizar a seleção informada do cenário que melhor atenderia ao projeto, de forma autônoma. O tempo de avaliação foi considerado menor pelos especialistas responsáveis pelas análises. O processo ativo de decisão, com a participação de todos os envolvidos foi implementado. O aceite técnico do serviço pelo cliente – não especialista, sem demandas de revisão ou apresentação de dúvidas metodológicas após a entrega, permitem concluir que a ferramenta de visualização cumpriu a sua função de comunicação com eficiência.

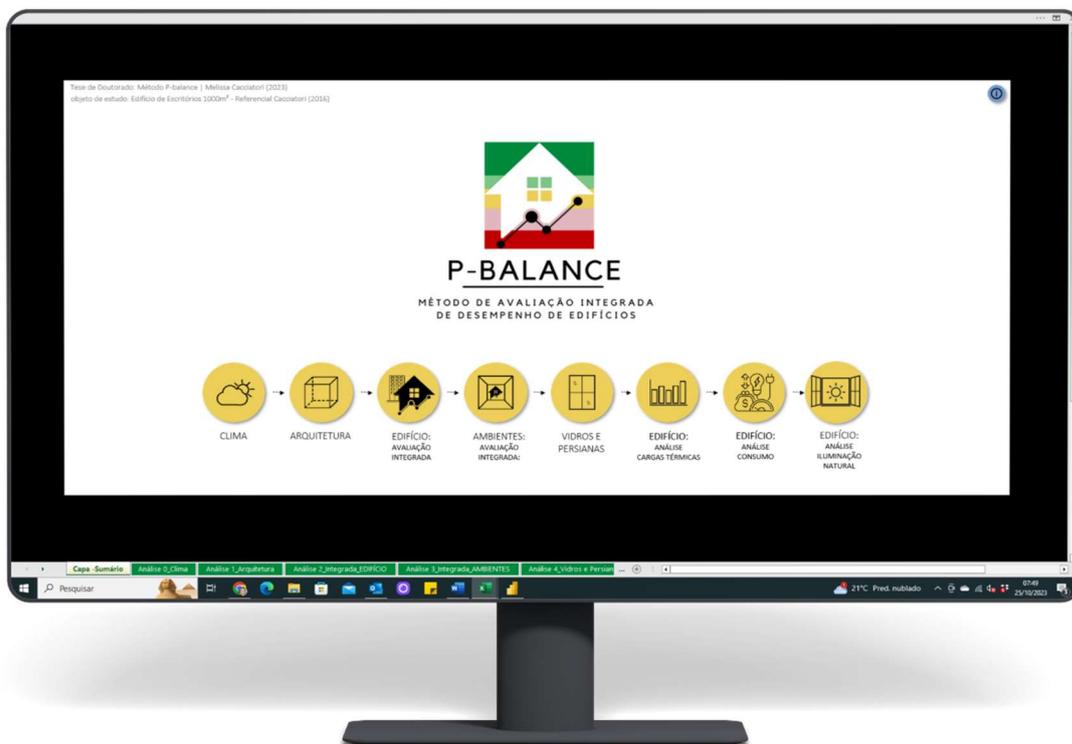
Requisito 3: O processo de avaliação ocorreu com maior uniformidade e assertividade, uma vez que os fluxos de análise estavam claros e definidos para a equipe de consultoria.

Requisito 4: O tempo de elaboração de relatórios foi reduzido. Não houve percepção de redução do tempo de apresentação de relatórios, embora a comunicação tenha sido mais efetiva. É possível apontar que o serviço teve uma redução de tempo importante, uma vez que as demandas por revisões ou foram inexistentes, ou pequenas revisões de dados e relatório, ou relativas a alterações de projeto, configurando-se como adicionais de escopo. Este aspecto favorece a viabilidade econômica de serviços de consultoria, aumenta a segurança técnica e auxilia na sua promoção de valor.

4 P-BALANCE: FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO INTEGRADA

Neste capítulo é apresentada a ferramenta metodológica P-Balance desenvolvida nesta tese, ilustrada na **Figura 42**. A ferramenta, desenvolvida em Excel, é constituída por 1 tela inicial, 1 painel de análise de clima, 1 painel de análise que arquitetura, 2 painéis para avaliação integrada, 4 painéis de análises complementares, e 5 painéis informativos (**Figura 43**).

Figura 42 – Ilustração da Ferramenta P-Balance – Tela Inicial

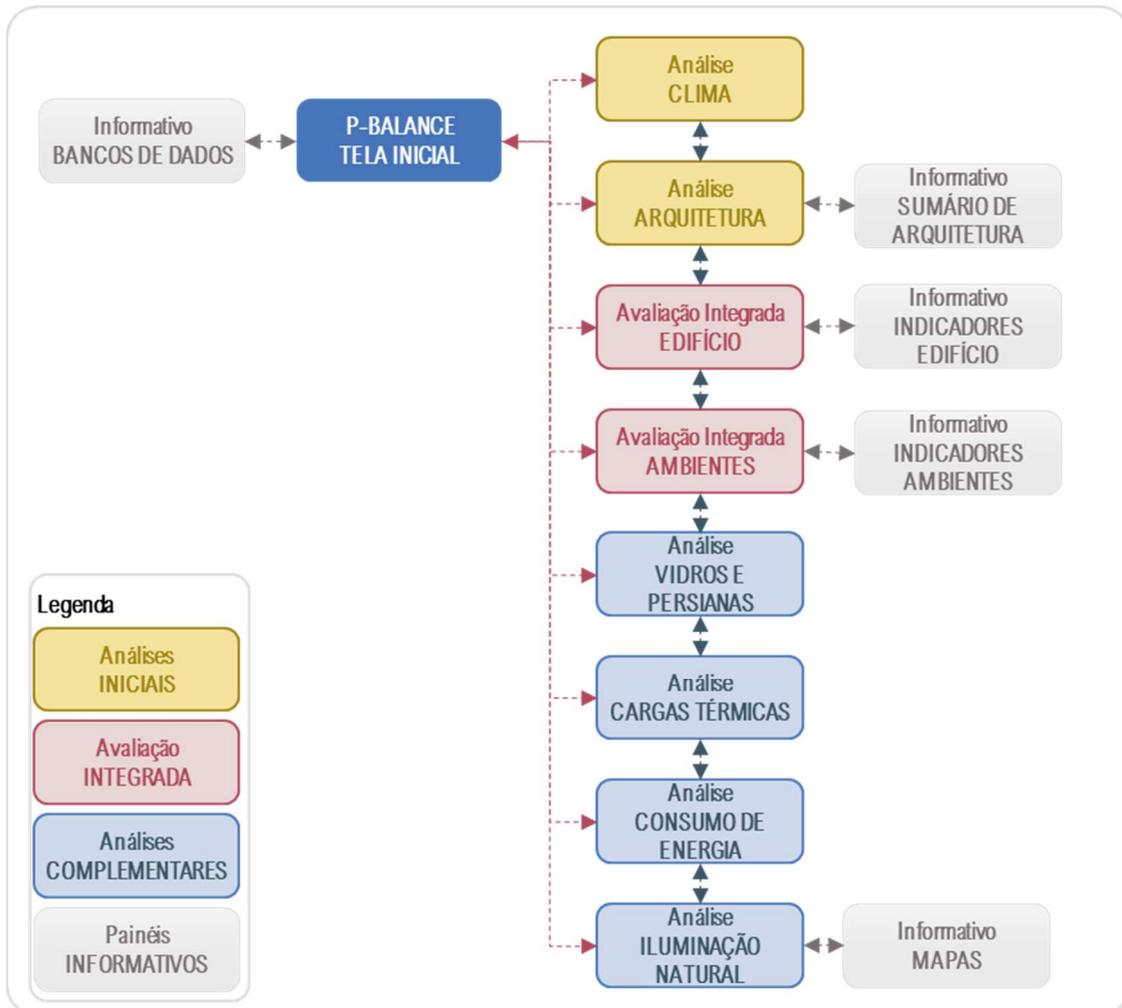


Elaborado pela autora (2023)

A P-Balance é uma ferramenta de visualização de análises e dados de desempenho de edifícios para apoio à avaliação e comunicação em processos de consultoria. Esta ferramenta embarca um método no qual as avaliações integradas ocupam posição central, enquanto as demais análises são complementares, sendo disponibilizadas para aprofundamento em indicadores e aspectos de desempenho específicos. O fluxograma da **Figura 43**, apresenta a estrutura da ferramenta e um fluxo bidirecional entre as análises, indicando um processo interativo, no qual cada análise será acessada na medida em que o usuário julgar necessário. Naturalmente, a simples disponibilização das análises sugere exploração. No entanto, a

dependem de experiências anteriores e da familiaridade de um avaliador com o processo, uma análise complementar poderá ser mais, ou menos, necessária.

Figura 43 -Fluxograma e Estrutura da Ferramenta P-Balance



Elaborado pela autora (2023)

Cada Análise está contida em um painel, disponível em uma tela específica da ferramenta. A seguir neste capítulo, cada tela é apresentada em um subcapítulo, tendo início pelas Configurações Gerais.

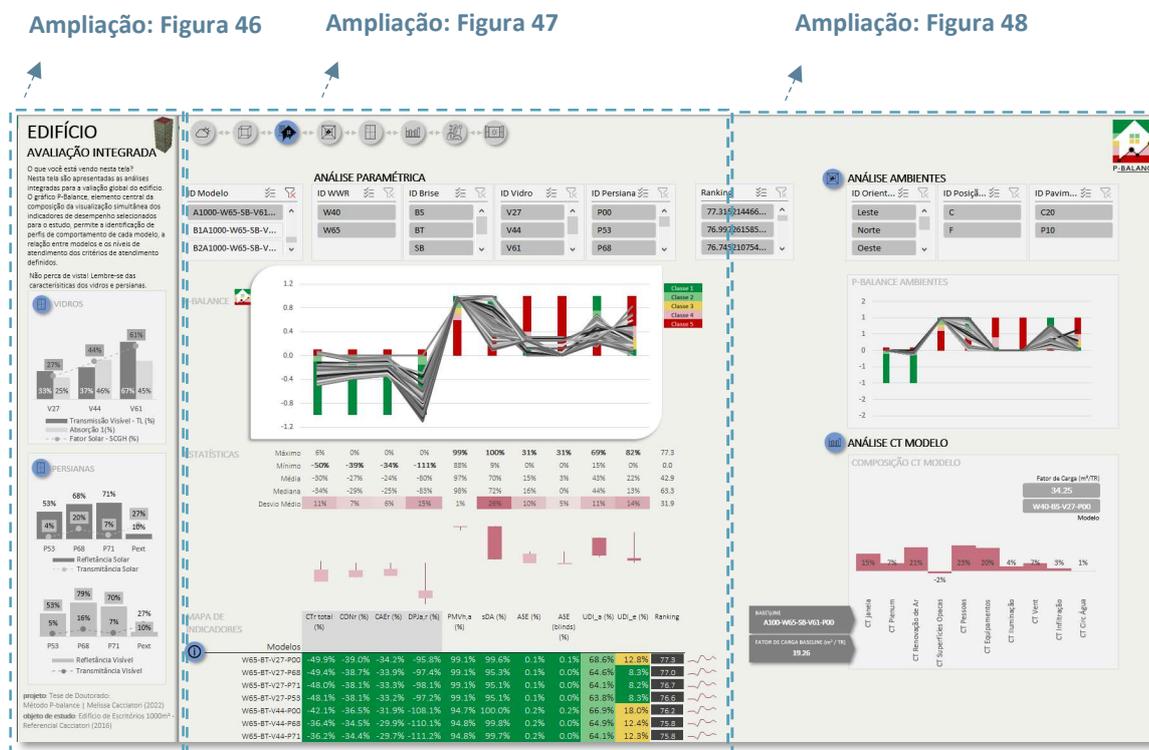
4.1 Configurações Gerais

As configurações gerais seguem apresentadas nas seções 4.1.1 a 4.1.3.

4.1.1 Layout de painéis

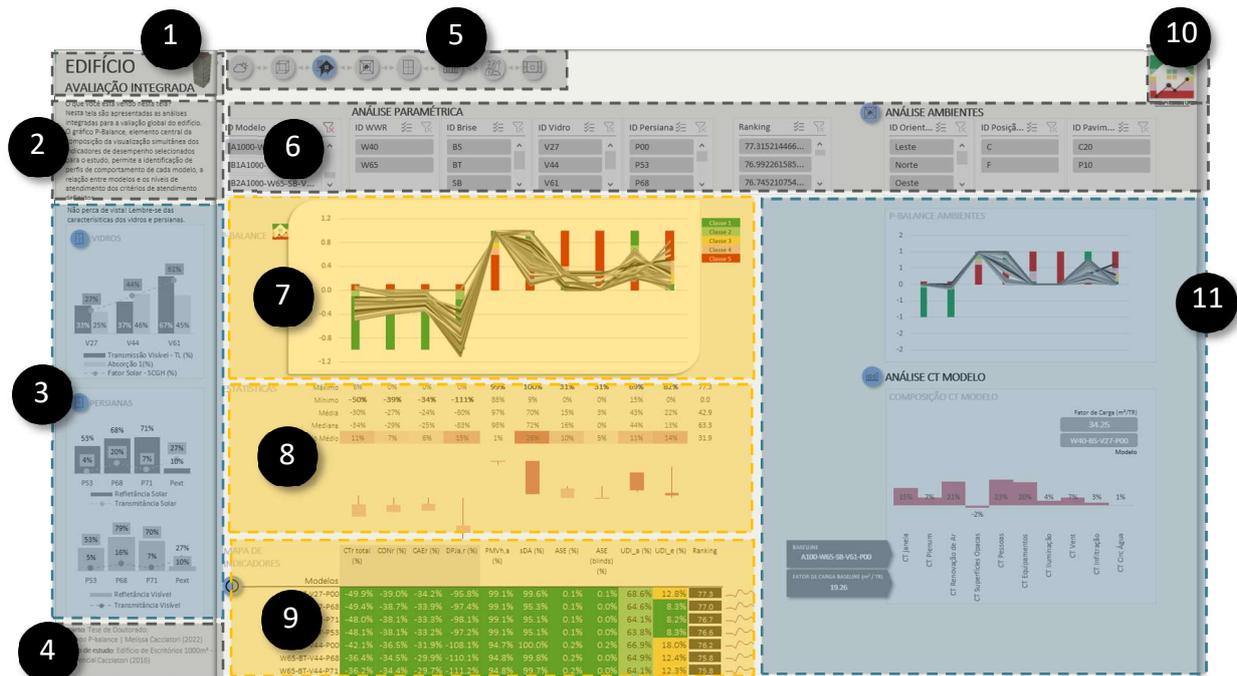
Cada painel possui uma visualização central específica, composta por um Gráfico Central, uma Tabela de Valores e, em algumas análises, uma Barra de Indicadores Estatísticos. Algumas configurações dos painéis e componentes de análise são comuns à todas as telas. O layout geral aplicado às telas e seus componentes são apresentados nas **Figuras 44 a 48**, elaboradas com base no Painel de Avaliação Integrada do Edifício. Variações de layout são evidenciadas na apresentação individual de cada painel.

Figura 44 – Painel de Avaliação Integrada do Edifício: Tela adotada como base para apresentação das configurações gerais



Elaborado pela autora (2023)

Figura 45 – Layout e Componentes dos Painéis de Análise



Legenda

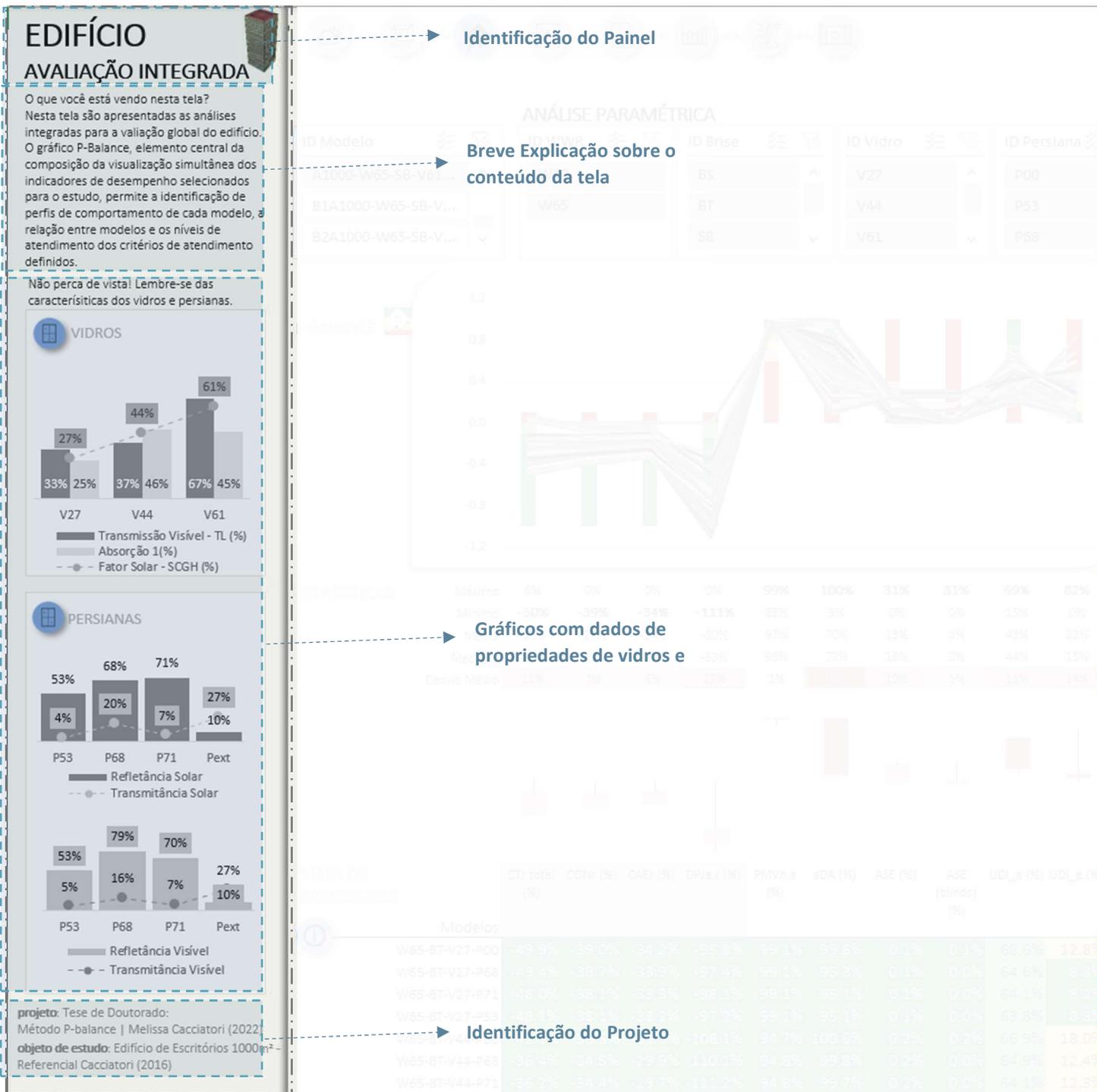
- Identificação do Painel e Navegação
 - Gráficos Complementares
 - Visualização Central da Análise
- } Entorno da Visualização Central

Componentes

1. Nome
2. Breve explicação sobre a análise contida no painel
3. Gráficos com dados de propriedades de Vidros e Persianas
4. Identificação do Projeto
5. Barra de Navegação
6. Caixas de segmentação de dados: seleção de parâmetros para análise
7. Gráfico Central da Análise
8. Barra de Indicadores Estatísticos
9. Tabela de Valores
10. Ícone para retorno à Tela Inicial
11. Gráficos Complementares

Elaborado pela autora (2023)

Figura 46 – Destaque de componentes do Painel. Ampliação 1 de 3 da Figura 42.



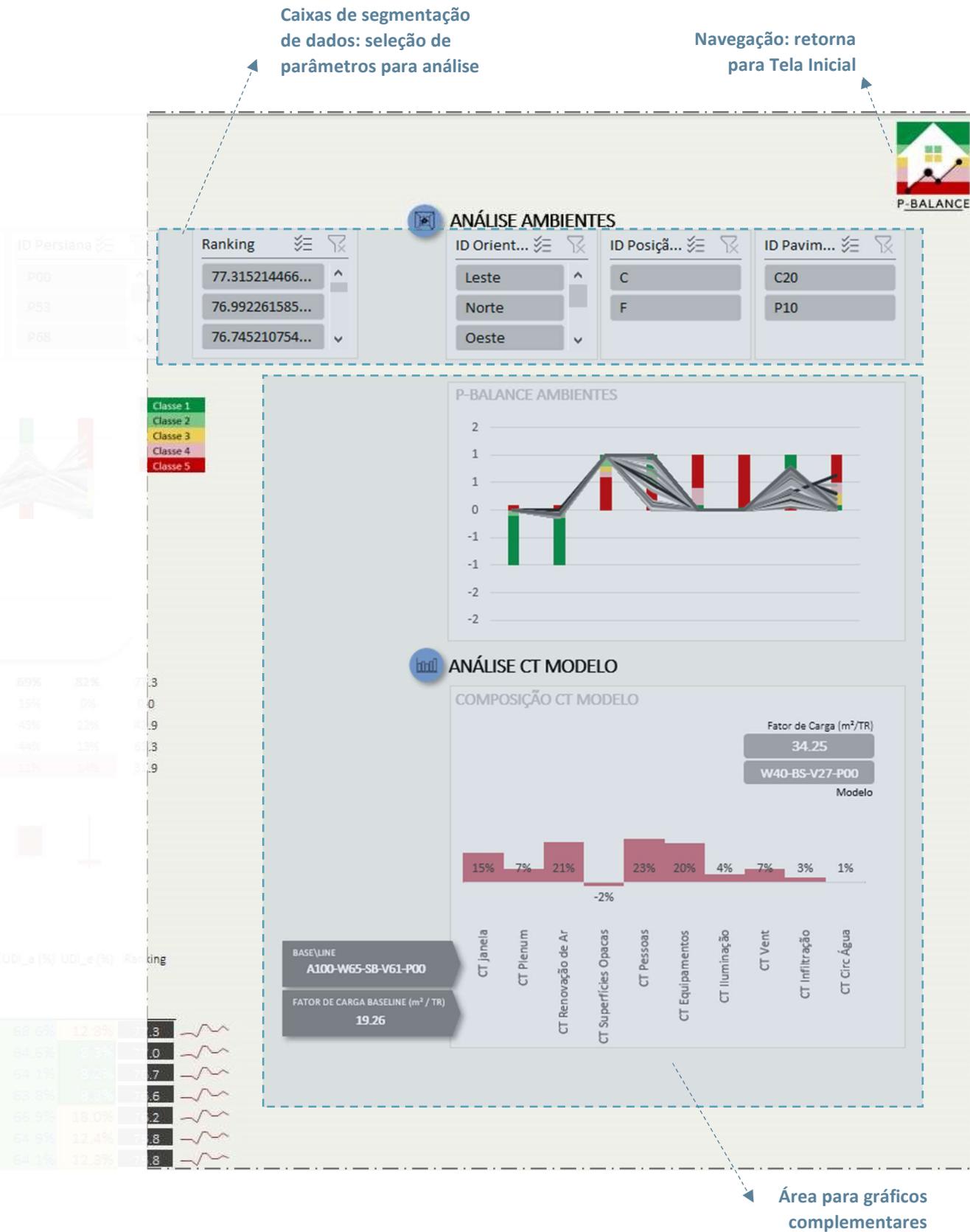
Elaborado pela autora (2023)

Figura 47 - Destaque de componentes do Painel. Ampliação 2 de 3 da Figura 42.



Navegação: Ícone de Acesso ao Painel Informativo associado à análise. Disponível apenas quando aplicável.

Figura 48 - Destaque de componentes do Painel. Ampliação 3 de 3 da Figura 42.



4.1.2 Componentes de análise e Técnicas de visualização aplicadas

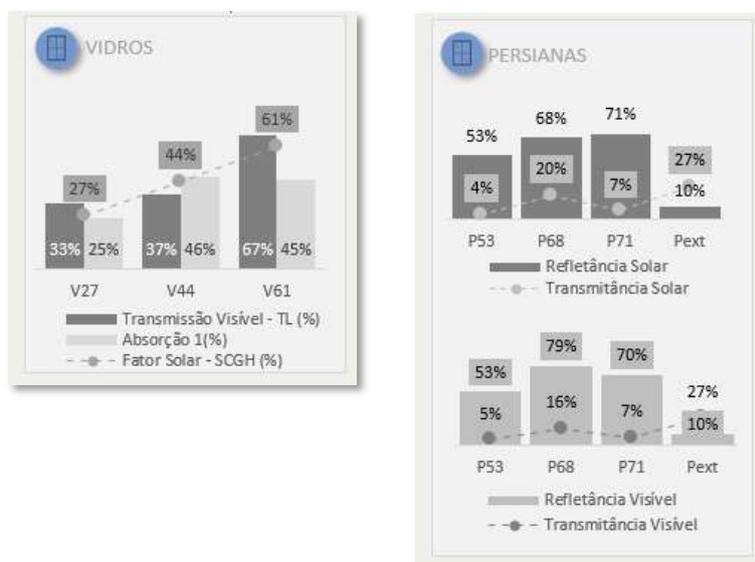
Conforme apresentado na seção anterior, a ferramenta integra em seus painéis componentes de identificação, de navegação, seleção e componentes visuais. Para o processo de análise e avaliação, destacam-se os recursos oferecidos pelos componentes visuais e de seleção, e as técnicas de visualização de dados aplicadas:

Gráficos com dados de propriedades de Vidros e Persianas: No processo de análise, um especialista realiza reiteradas consultas às propriedades de materiais para compreender o comportamento observado entre diferentes modelos em relação aos indicadores de desempenho. Manter estes dados no mesmo painel de análise, de forma gráfica, agiliza o processo de consulta, uma vez que pode ser dispensada a navegação para outras telas ou fontes de dados.

Assim como para os gráficos complementares, foram definidas cores neutras para estes gráficos, escala de tons de cinza, para não competir visualmente com a visualização central.

Destaca-se que todos os elementos componentes do entorno da visualização central (**Figura 45**) incluindo o próprio painel, são apresentados em cores neutras: tons de cinza, areia e preto. Deste modo, configura-se uma condição visual que não prejudica a percepção da informação central do painel.

Figura 49 – Gráficos com dados de Vidros e Persianas

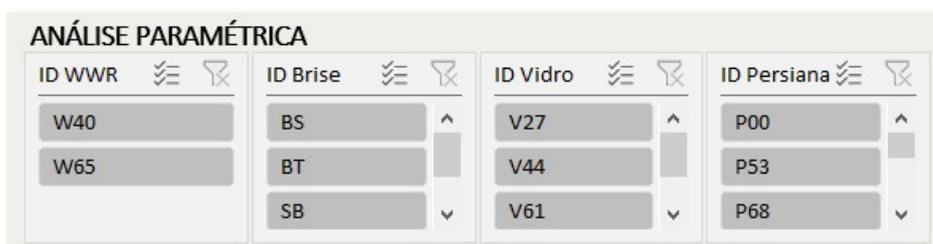


Elaborado pela autora (2023)

Caixas de segmentação de dados: Integrante dos recursos de análise de tabela dinâmica do Excel, as caixas de segmentação de dados são empregadas na ferramenta para possibilitar a seleção de parâmetros para análise e avaliação de modelos, que representam alternativas de projeto. O processo de seleção dos parâmetros é o que atribui dinamismo e interatividade ao método de avaliação embarcado na ferramenta, que pressupõe a participação ativa de especialistas e não especialistas.

A cada seleção, os gráficos da análise central, a tabela de valores e a barra de indicadores estatísticos exibem um movimento. Objetivando uma rápida apreensão de dados para a geração de informações no processo de avaliação, nesta ferramenta são criteriosamente aplicados os atributos de processamento pré-atentivo, apresentados na seção 2.3.1, e o movimento é um destes. O efeito do uso deste atributo é demonstrado no Capítulo 5. As cores aplicadas a estes componentes seguem o padrão definido para o painel.

Figura 50 – Caixas de Segmentação de Dados



Elaborado pela autora (2023)

Gráfico Central da Análise: Constituinte da Visualização Central, é o componente principal da análise. Cada painel possui um gráfico específico. Os tipos de gráficos adotados e suas descrições são apresentados na seção 4.1.3 a seguir.

Os gráficos centrais são os únicos elementos destacados por um fundo branco, para que se destaquem do entorno. O branco promove o destaque visual pois é a cor que mais reflete luz. Para a elaboração destes gráficos foram observados os limites de cores e condições de contraste para permitir o processamento rápido, em nível pré-atentivo. As cores adotadas os gráficos centrais variam conforme análise do painel. Os limites de cores e outros atributos de processamento pré-atentivos são apresentados na seção 2.3.1.

Barra de Indicadores Estatísticos: Recurso adotado para resumir e agregar dados. Permite compreender e assimilar rapidamente, o extenso conjunto de valores apresentados para cada indicador de desempenho, referentes a cada modelo do estudo, por meio dos valores mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão.

Para ampliar a percepção de informações significativas de modo pré-atentivo, foi aplicado o destaque em forma de gradiente de cor à linha que apresenta os indicadores de desvio padrão. Esta estratégia permite a codificação de variação quantitativa entre valores, de forma rápida, por meio da variação de intensidade de cor. Maiores intensidades representam maiores desvios. No processo de avaliação de desempenho, maiores desvios em um indicador de desempenho significam maior sensibilidade do mesmo às variações paramétricas do estudo.

Este componente é adotado nos painéis de Avaliações Integradas, Análises de Cargas Térmicas, e Análise de Vidros e Persianas.

A cor adotada em todos os painéis para o destaque de desvio padrão é o Marsala. Conforme são realizadas seleções nas caixas de segmentação e dados, os valores da barra de estatística se alteram, para representar as variações da seleção realizada. Este processo também gera movimento das intensidades de cores, evidenciando o comportamento de sensibilidade dos indicadores de desempenho.

Figura 51 – Barra de Indicadores Estatísticos e Variações de Indicadores por tipo de seleção

ESTATÍSTICAS	Máximo	6%	0%	0%	0%	99%	100%	31%	31%	69%	82%
Mínimo	-50%	-39%	-34%	-111%	88%	9%	0%	0%	15%	0%	
Média	-30%	-27%	-24%	-80%	97%	70%	15%	3%	43%	22%	
Mediana	-34%	-29%	-25%	-83%	98%	72%	16%	0%	44%	13%	
Desvio Médio	11%	7%	6%	15%	1%	26%	10%	5%	11%	14%	

Todos os modelos	CTr total (%)	CONr (%)	CAEr (%)	DPJa,r (%)	PMVh,a (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	
ESTATÍSTICAS	Máximo	6%	0%	0%	0%	99%	100%	31%	31%	69%	82%
Mínimo	-50%	-39%	-34%	-111%	88%	12%	0%	0%	15%	7%	
Média	-26%	-25%	-22%	-77%	97%	76%	13%	3%	45%	24%	
Mediana	-31%	-25%	-22%	-81%	97%	95%	5%	0%	45%	14%	
Desvio Médio	14%	9%	8%	19%	2%	26%	12%	5%	12%	16%	

Seleção: Modelos com WWR 65%

ESTATÍSTICAS	Máximo	-16%	-14%	-12%	-30%	99%	100%	25%	25%	63%	67%
Mínimo	-48%	-38%	-33%	-104%	94%	9%	3%	0%	21%	0%	
Média	-34%	-29%	-25%	-82%	98%	63%	16%	3%	41%	19%	
Mediana	-35%	-29%	-26%	-84%	98%	65%	16%	0%	41%	11%	
Desvio Médio	8%	5%	4%	11%	1%	26%	8%	5%	10%	13%	

Seleção: Modelos com WWR 40%

ESTATÍSTICAS	Máximo	-16%	-14%	-12%	-30%	99%	100%	25%	25%	52%	67%
Mínimo	-45%	-35%	-31%	-84%	94%	9%	25%	0%	21%	0%	
Média	-27%	-24%	-21%	-71%	98%	47%	25%	5%	33%	18%	
Mediana	-24%	-22%	-19%	-75%	98%	38%	25%	0%	29%	12%	
Desvio Médio	9%	5%	4%	9%	1%	27%	0%	8%	10%	13%	

Seleção: Modelos com WWR 40%, Sem Brises

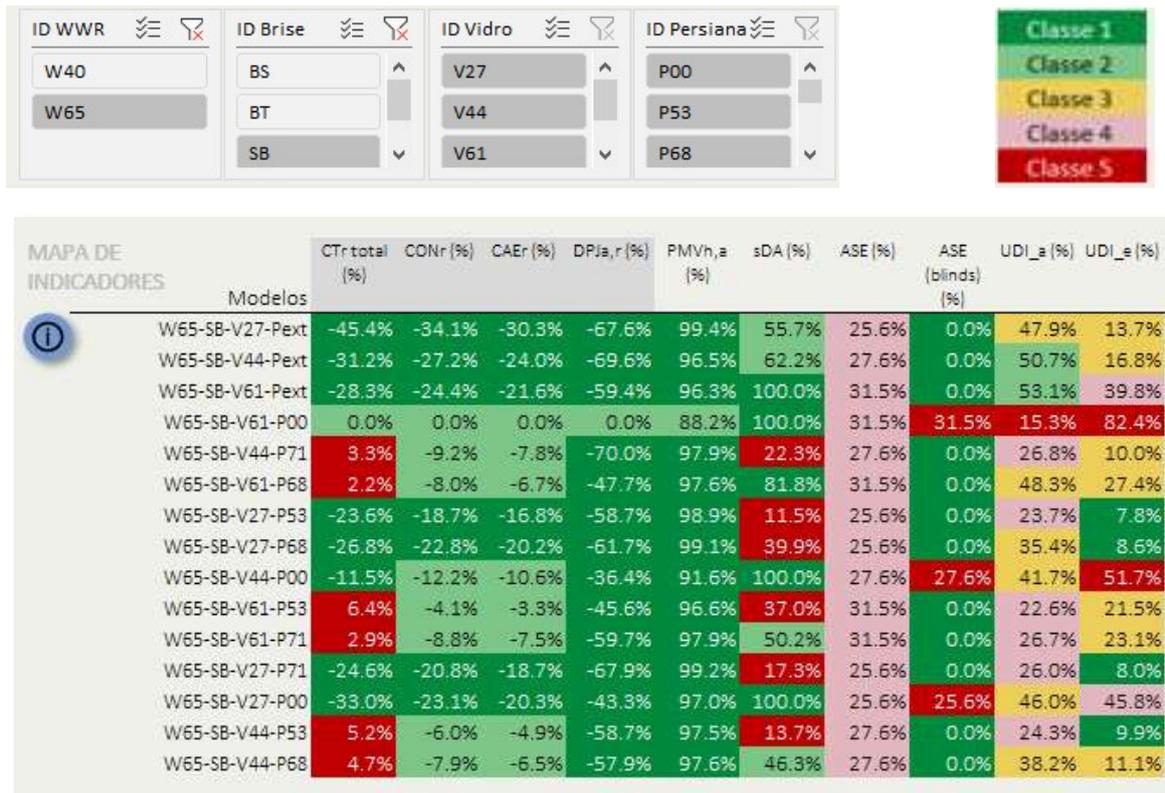
Elaborado pela autora (2023)

Tabela de Valores: Constituinte da Visualização Central, é o componente que disponibiliza os dados numéricos para avaliação de valores de forma individual. Sua análise demanda mais atenção e foco, caracterizando um processo atento, mais lento. Entre os diferentes painéis, são aplicadas 3 versões da tabela de valores:

- 1. Mapa de Indicadores Classificados (Figura 52):** esta versão é adotada nos painéis de Avaliações Integradas. Uma classificação cromática, baseada na escala de níveis de atendimento dos critérios estabelecidos para cada indicador, é aplicada aos valores. Como resultado é formado um mapa de calor que possibilita então o processamento visual pré-atentivo devido à classificação cromática, além do atento, devido à disponibilização de valores numéricos. Este Mapa conta ainda com o recurso de filtro,

que permite selecionar apenas indicadores classificados em determinado nível, direcionando a análise pela restrição de níveis de atendimento não desejáveis pela equipe de projeto.

Figura 52 – Mapa de Indicadores Classificados: Componente da Visualização P-Balance – Painel de Avaliação Integrada do Edifício



Elaborado pela autora (2023)

2. Mapa de Indicadores (Figura 53): nesta versão é aplicado um destaque aos valores em forma de gradiente de cor para identificação pré-atentiva de variações quantitativas por meio da intensidade da cor: maior intensidade, maiores valores. Este mapa é adotado nos painéis de Análises de Carga Térmica, iluminação Natural e Consumo de Energia.

Figura 53 - Mapa de Indicadores, com classificação por gradiente de cor: Componente do Painel de Análise de Cargas térmicas

MAPA CT	CT Janela	CT Plenum	CT Renovação de Ar	CT Superfícies Opacas	CT Pessoas	CT Equipamentos	CT Iluminação	CT Vent	CT Infiltração	CT Circ Água
Modelos	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
W65-SB-V27-P00	24%	9%	21%	-5%	20%	18%	4%	7%	2%	1%
W65-SB-V27-P53	36%	26%	8%	-24%	20%	18%	5%	9%	2%	1%
W65-SB-V27-P68	36%	26%	8%	-24%	21%	19%	4%	9%	2%	1%
W65-SB-V27-P71	33%	28%	8%	-24%	21%	19%	5%	9%	2%	1%
W65-SB-V27-Pext	15%	7%	24%	-5%	23%	21%	4%	7%	3%	1%
W65-SB-V44-P00	51%	14%	6%	-16%	16%	14%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V44-P53	49%	33%	7%	-35%	16%	14%	4%	9%	1%	1%
W65-SB-V44-P68	50%	34%	7%	-36%	16%	14%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V44-P71	47%	36%	7%	-36%	17%	15%	4%	9%	1%	1%
W65-SB-V44-Pext	45%	11%	7%	-17%	20%	18%	4%	9%	2%	1%
W65-SB-V61-P00	57%	15%	5%	-18%	14%	13%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V61-P53	53%	31%	6%	-34%	16%	14%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V61-P68	53%	32%	6%	-35%	16%	14%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V61-P71	49%	34%	7%	-36%	17%	15%	3%	9%	1%	1%
W65-SB-V61-Pext	50%	12%	7%	-20%	19%	17%	4%	9%	1%	1%

Elaborado pela autora (2023)

Tabelas de Valores sem classificações cromáticas (Figura 54). Adotada na Análise de Vidros e Persianas.

Figura 54 - Tabelas de Valores sem classificações cromáticas: Componente do Painel de Análise Vidros e Persianas

TABELA DE DADOS	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
	Total	HVAC	Iluminaçã	Total	HVAC	Iluminaçã
Modelos	Relativo - Baseline- P00 (%)	Relativo - Baseline- P00 (%)	o Relativo - Baseline- P00 (%)	Relativo - Baseline- P68 (%)	Relativo - Baseline- P68 (%)	o Relativo - Baseline- P68 (%)
W65-SB-V27-P00	-23.1%	-35.7%	1.3%	-16.5%	-26.7%	1.2%
W65-SB-V27-P53	-18.7%	-31.5%	24.3%	-11.7%	-21.9%	24.3%
W65-SB-V27-P68	-22.8%	-35.6%	4.5%	-16.1%	-26.6%	4.4%
W65-SB-V27-P71	-20.8%	-34.1%	18.6%	-13.9%	-24.9%	18.5%
W65-SB-V27-Pext	-34.1%	-52.8%	1.8%	-28.4%	-46.2%	1.8%
W65-SB-V44-P00	-12.2%	-18.9%	0.9%	-4.6%	-7.5%	0.9%
W65-SB-V44-P53	-6.0%	-11.6%	21.4%	2.1%	0.8%	21.4%

Elaborado pela autora (2023)

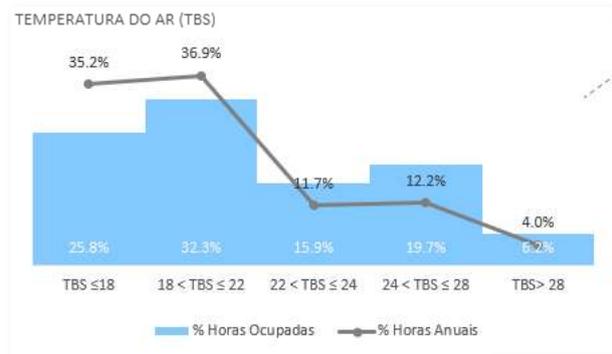
Gráficos Complementares: Estes componentes variam entre painéis. São apresentados em cores neutras - escala de tons de cinza, para não competir visualmente com gráficos centrais, exceto no caso das Avaliações Integradas, como será apresentado no subcapítulo específico.

4.1.3 Tipos de Gráficos

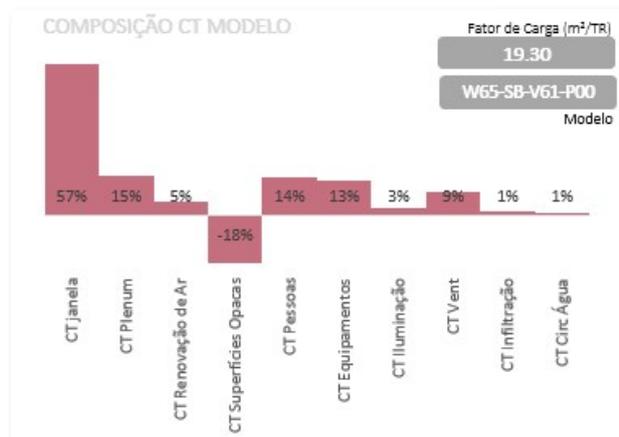
Os tipos de gráficos adotados nos painéis de análise seguiram recomendações de técnicas de visualização (FEW, 2012) para privilegiar a codificação de quantidades de forma pré-atentiva. Os gráficos seguem descritos e ilustrados a seguir.

Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, e uma única cor aplicada a cada série de dados (Figura 55) para representar partes do todo. Adotados para Análise de Clima e Composição de Carga Térmica. É usual que composições de cargas térmicas por exemplo, sejam demonstradas por gráficos tipo pizza. Esta é considerada uma alternativa pouco eficiente, pois precisamos codificar as variações quantitativas entre cada série de dados por meio do cálculo de área da seção do círculo, enquanto no gráfico de barras, basta comparar as diferentes alturas das barras.

Figura 55 – Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, cor única: representação de partes do todo



Painel de Análise do Clima

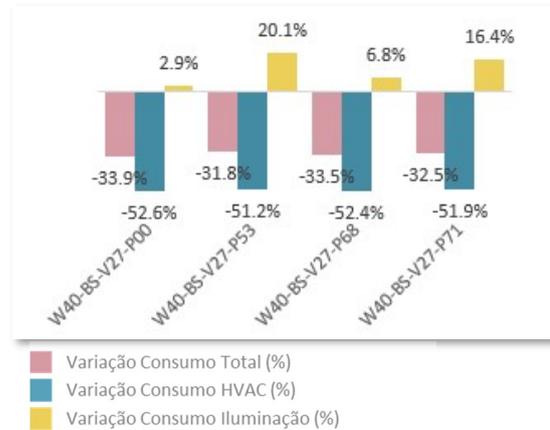


Painel de Análise de Cargas Térmicas

Elaborado pela autora (2023)

Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, com cores diferentes para cada série de dados (Figura 56), para formatar conjuntos de análise comparativa. Adotados para Análise de Vidros e Persianas e no gráfico complementar de Percentual de horas de persianas ativas.

Figura 56 - Gráficos de Barras, sem espaçamento entre barras, com cores diferentes para cada série de dados, para formatar conjuntos de análise comparativa



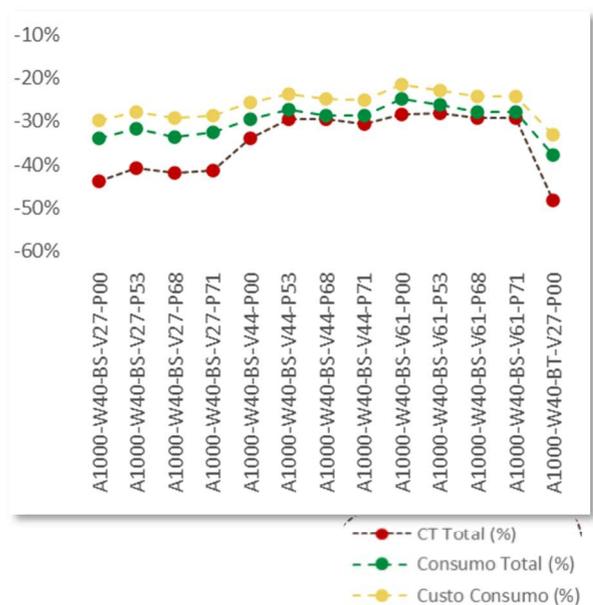
Painel de Análise de Vidros e Persianas – Gráfico Central



Painel de Análise de Vidros e Persianas – Gráfico Complementar

Gráficos de linhas empilhadas, formado por Pontos 2 D, interligados por linhas tracejadas (Figura 57), para identificação e comparação de tendências entre séries de dados distintas. Adotados para Análise de Consumo de Energia. As linhas empilhadas permitem a comparação das tendências entre as variáveis analisadas conforme a variação paramétrica. As linhas tracejadas conectando os pontos 2D permitem a visualização da tendência, sem representar um conjunto como quando são adotadas conexões com linhas cheias.

Figura 57 - Gráficos de Linhas empilhadas: Pontos 2 D interligados por linhas tracejadas



Painel de Análise de Consumo de Energia – Gráfico Central

Elaborado pela autora (2023)

Elaborado pela autora (2023)

Gráficos de Barras, combinadas com linhas (Figura 58), para representar simultaneidade de diferentes características. Adotados nos Gráficos de Propriedades de Persianas e Vidros e Análise de Iluminação Natural. Este gráfico é a combinação do gráfico anterior, com séries representadas por barras. A combinação é adotada para destacar indicadores que ocorrem de forma simultânea.

Figura 58 - Gráficos de Barras, combinadas com linhas



Painel de Análise de Iluminação Natural – Gráfico Complementar

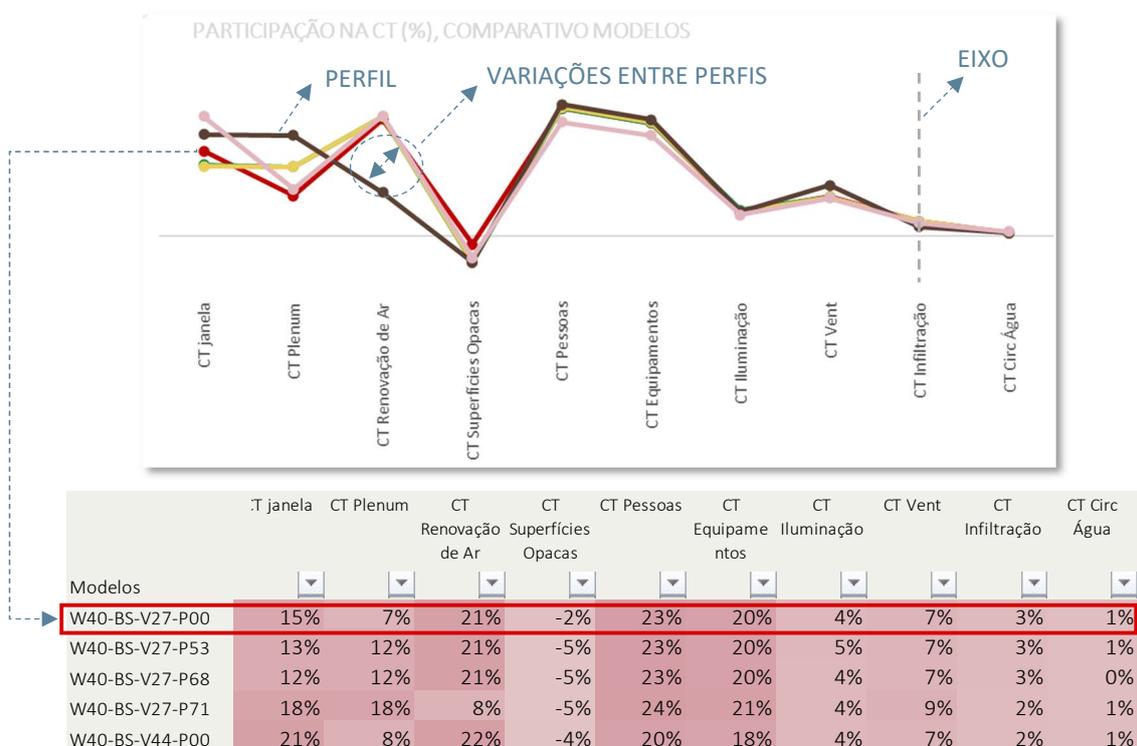


Elaborado pela autora (2023)

Gráfico Complementar

Gráfico de coordenadas paralelas (Figura 59). Este é o gráfico mais recomendado para análise de múltiplas variáveis. Adotado na Análise de Composição de Cargas Térmicas, permite traçar perfis de carga térmica, formados pelas várias fontes de calor consideradas no dimensionamento do sistema de ar-condicionado, para cada modelo, e comparar os modelos. O perfil de cada modelo demonstra a relação entre cada fonte de carga térmica. As diferenças entre perfis, demonstram a variação de comportamento entre modelos com composições paramétricas distintas. O gráfico não apresenta nenhum dado numérico, pois o que se pretende é possibilitar a visualização dos perfis. Ao clicar sobre um perfil, a linha de origem dos dados na Tabela de Valores abaixo do gráfico se destaca, permitindo a identificação do modelo de referência. Cada eixo paralelo no gráfico, corresponde a uma coluna de dados da tabela. Cada perfil, corresponde a uma linha. As conexões ente pontos de um mesmo perfil com linha cheia, indica que se trata de um conjunto.

Figura 59 - Gráfico de coordenadas paralelas

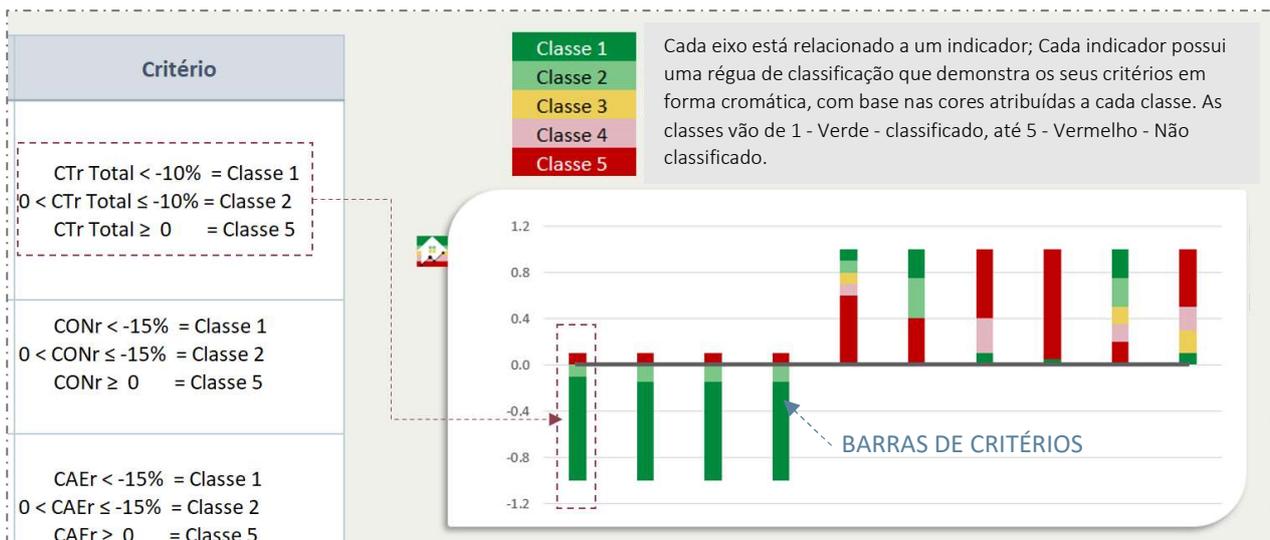


Elaborado pela autora (2023)

Gráfico P-Balance: Gráfico de coordenadas paralelas, combinado com barras empilhadas. Este é o gráfico componente da Visualização P-Balance, que dá nome à ferramenta. Adotado nas Avaliações Integradas, o objetivo do gráfico é permitir a análise simultânea de múltiplas variáveis como no caso anterior, que neste processo de avaliação, são os múltiplos indicadores de performance. O gráfico de coordenadas paralelas é o mais recomendado para este tipo de análise.

O gráfico P-Balance agrega as barras de critérios. O processo de formatação destas barras fica disponível no Painel Informativo de Avaliação Integrada do Edifício, para informar os usuários, e é apresentado na **Figura 60** a seguir. Os critérios adotados para cada métrica estão apresentados na seção 3.2.2.

Figura 60 – Processo de formatação do gráfico P-Balance: Barras de Critérios



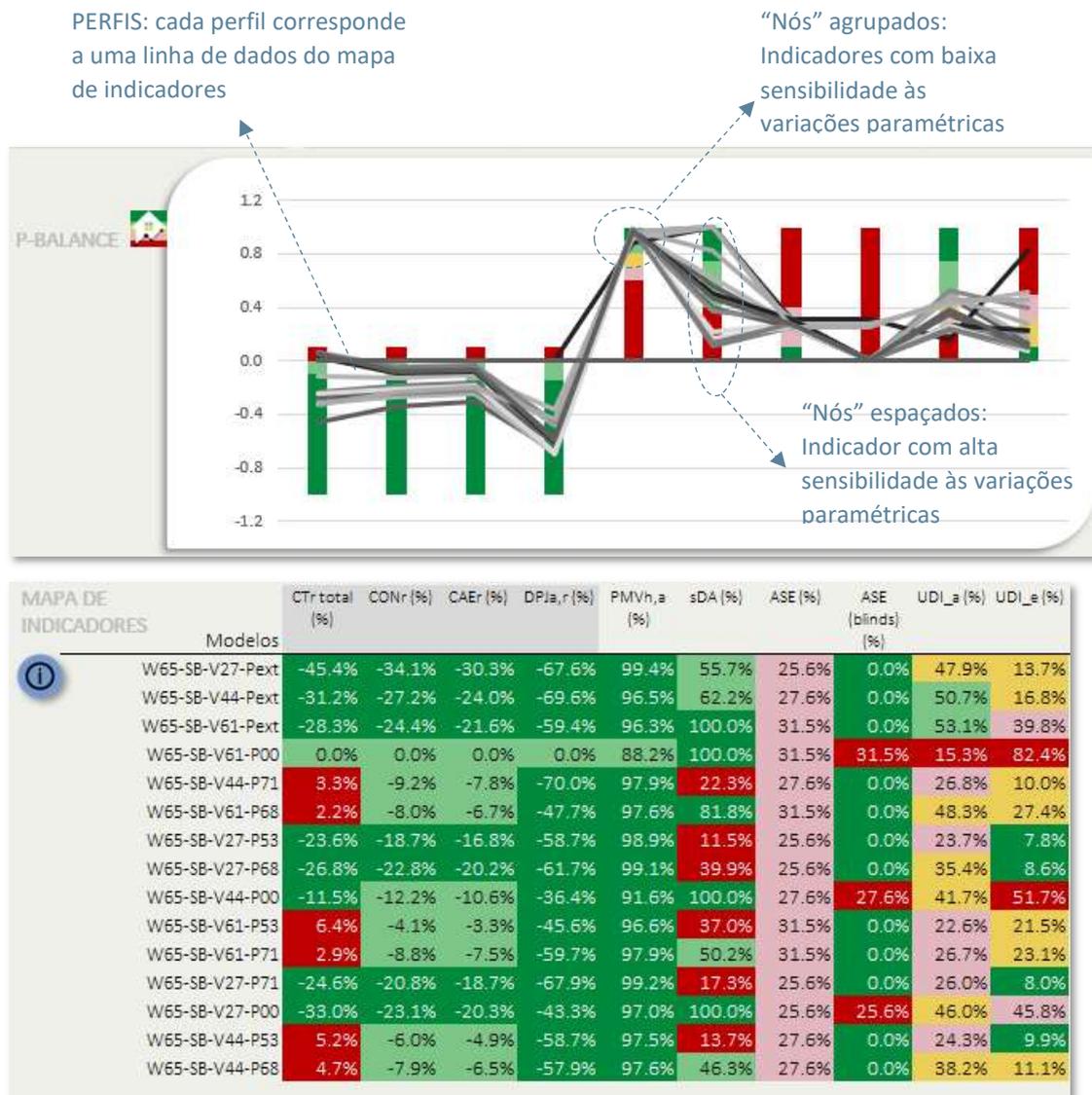
Elaborado pela autora (2023)

Na **Figura 61** a seguir:

1. Cada eixo corresponde a um indicador considerado na análise;
2. Cada perfil é formado por uma linha cheia que conecta os pontos 2D, que no gráfico representam o valor do indicador e são chamados de "Nós";
3. Os valores numéricos dos indicadores de cada modelo são apresentados no Mapa; Cada linha do mapa refere-se a um modelo e é representado por um perfil;
4. As distâncias entre os nós de um mesmo indicador demonstram alta ou baixa sensibilidade do mesmo às variações paramétricas do estudo;

5. O padrão de subida e descida do perfil demonstra os *trade-offs* entre indicadores;
6. Os modelos podem ser comparados de forma visual com base nos perfis de desempenho;
7. A sobreposição dos nós com a barra de critérios permite identificar os níveis de atendimento definidos para cada indicador;

Figura 61 – Gráfico P-Balance



Elaborado pela autora (2023)

A **Figura 62** apresenta o gráfico P-Balance comparado a um gráfico de coordenadas paralelas gerado no Power BI. Conforme apresentado na Etapa 4 do método, a visualização tipo coordenadas paralelas disponível para Power BI, desenvolvida por uma empresa privada, não possibilita edição das escalas de valores dos eixos, dificultando a identificação de padrões de comportamento entre perfis e os *trade-offs* entre indicadores. No gráfico P-Balance, foi adotada uma escala padronizada, em um intervalo entre 120% à -120%.

Figura 62 – Gráfico P-Balance Vs. Gráfico de Coordenadas Paralelas xViz – Power BI

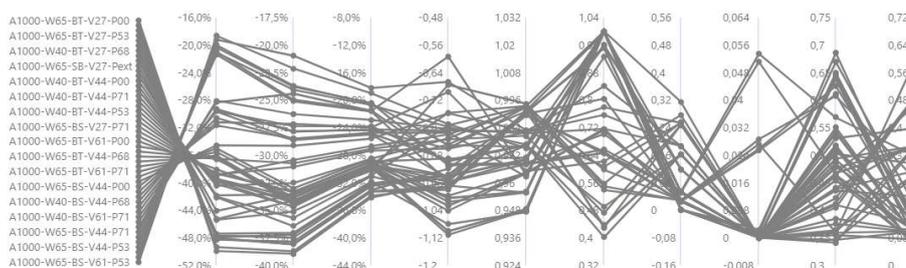
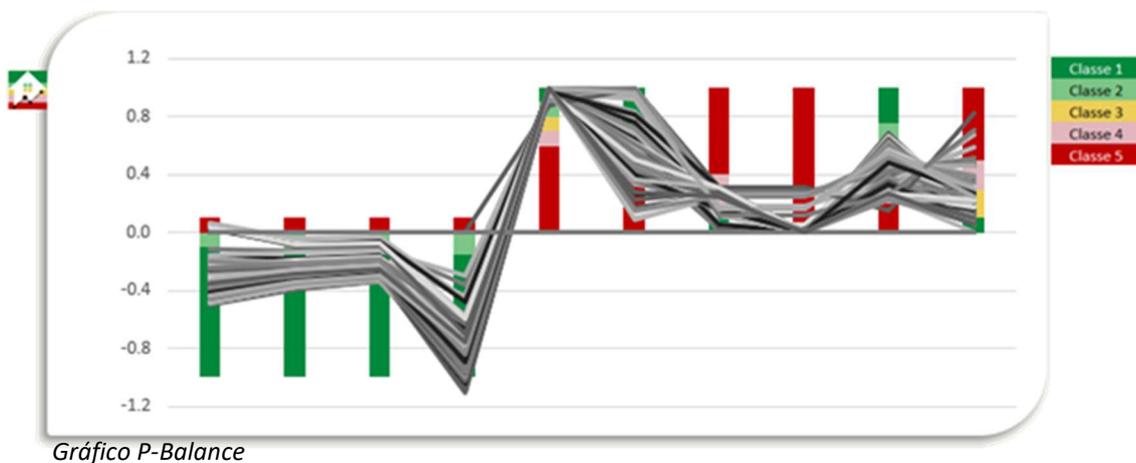


Gráfico de coordenadas paralelas xViz – Power BI

Elaborado pela autora (2023)

A seguir, são apresentados todos os painéis da ferramenta.

4.2 Tela Inicial

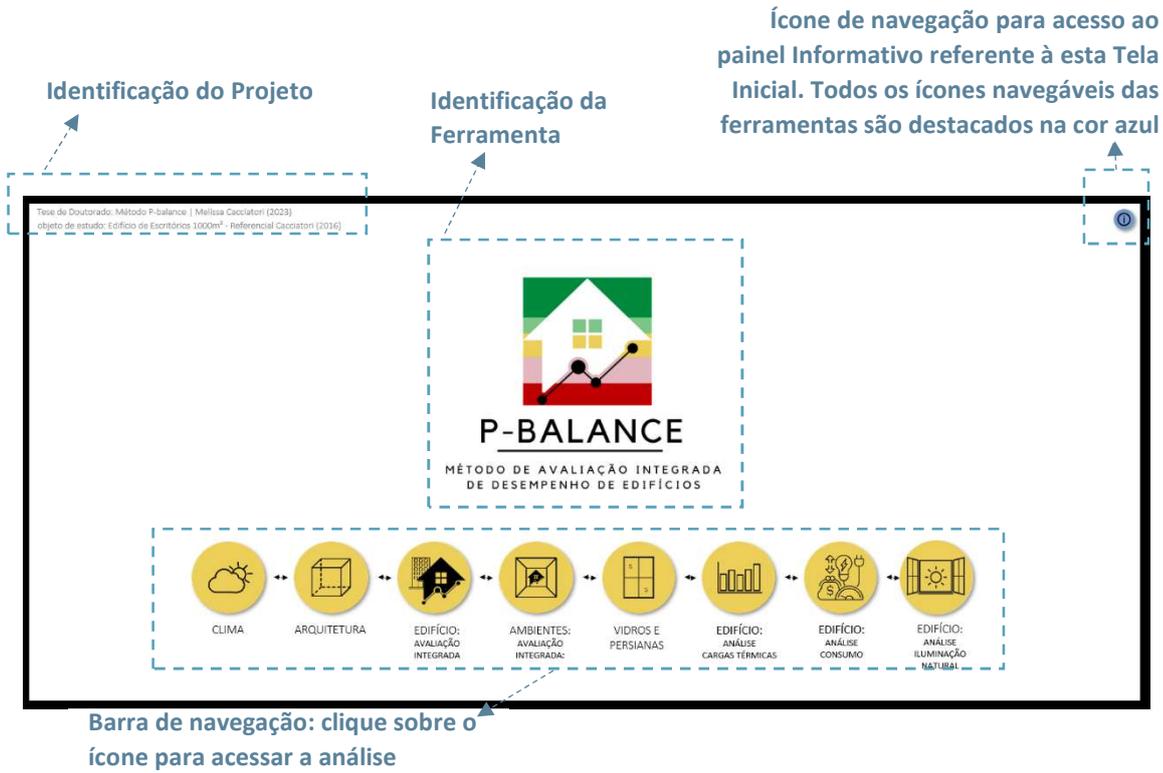
Este painel é apresentado no **Quadro 24** e na **Figura 63** a seguir.

Quadro 24 – Quadro Resumo: Tela Inicial

Tela Inicial	Descrição: A tela inicial funciona como um sumário. Apresenta os painéis de análises disponíveis.
Recursos Disponíveis para análise	Não aplicável para esta tela
Técnicas de Visualização aplicadas	Navegação: ao clicar sobre cada ícone, a tela de análise selecionada pode ser acessada. Todas as telas possuem uma barra de navegação e um ícone para retorno à tela inicial, conforme indicado nas figuras das telas de análise a seguir.
Método de Avaliação Proposto	Não aplicável para esta tela
Painéis Informativos Associados	Painel Informativo Tela Inicial (Figuras 64 à 66). O informativo da tela inicial apresenta e dá acesso aos Bancos de Dados de Arquitetura e de Resultados, utilizados para a elaboração das telas de análises. Em um processo de avaliação, os bancos de dados devem estar facilmente acessíveis para consultas, auditorias ou elaboração de análises complementares.

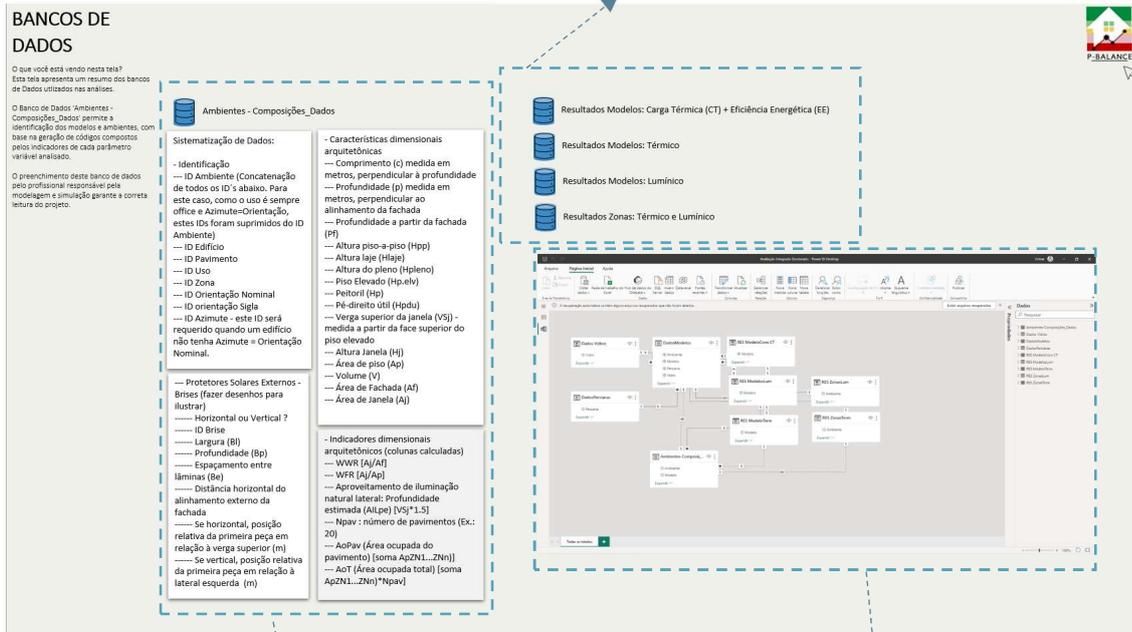
Elaborado pela autora (2023)

Figura 63 – Apresentação da Ferramenta P-Balance: Tela Inicial



Ícone de navegação para acesso ao painel Informativo referente à esta Tela Inicial. Todos os ícones navegáveis das ferramentas são destacados na cor azul

Figura 64 - Painel Informativo: Tela Inicial



Bancos de Dados. Ícones azuis permitem navegar pela ferramenta e acessar os bancos de dados no caso desta tela. Ver ampliação: Figura 66

Resumo de Dados referentes à Arquitetura. Ver ampliação: Figura 65

Tela de relacionamentos entre Bancos de Dados. Para fins informativos, utilizada a tela de relacionamentos do Power-BI (Figuras 31 a 33, seção 3.3)

Figura 65 – Ampliação Painel Informativo: Tela Inicial – Parte 1 de 2

BANCOS DE DADOS

O que você está vendo nesta tela?
Esta tela apresenta um resumo dos bancos de Dados utilizados nas análises.

O Banco de Dados 'Ambientes - Composições_Dados' permite a identificação dos modelos e ambientes, com base na geração de códigos compostos pelos indicadores de cada parâmetro variável analisado.

O preenchimento deste banco de dados pelo profissional responsável pela modelagem e simulação garante a correta leitura do projeto.



Ambientes - Composições_Dados

Sistematização de Dados:

- Identificação

--- ID Ambiente (Concatenação de todos os ID's abaixo. Para este caso, como o uso é sempre office e Azimute=Orientação, estes IDs foram suprimidos do ID Ambiente)

--- ID Edifício

--- ID Pavimento

--- ID Uso

--- ID Zona

--- ID Orientação Nominal

--- ID orientação Sigla

--- ID Azimute - este ID será requerido quando um edifício não tenha Azimute = Orientação Nominal.

--- Protetores Solares Externos - Brises (fazer desenhos para ilustrar)

----- Horizontal ou Vertical ?

----- ID Brise

----- Largura (Bl)

----- Profundidade (Bp)

----- Espaçamento entre lâminas (Be)

----- Distância horizontal do alinhamento externo da fachada

----- Se horizontal, posição relativa da primeira peça em relação à verga superior (m)

----- Se vertical, posição relativa da primeira peça em relação à lateral esquerda (m)

- Características dimensionais arquitetônicas

--- Comprimento (c) medida em metros, perpendicular à profundidade

--- Profundidade (p) medida em metros, perpendicular ao alinhamento da fachada

--- Profundidade a partir da fachada (Pf)

--- Altura piso-a-piso (Hpp)

--- Altura laje (Hlaje)

--- Altura do pleno (Hpleno)

--- Piso Elevado (Hp.elv)

--- Peitoril (Hp)

--- Pé-direito útil (Hpdu)

--- Verga superior da janela (VSj) - medida a partir da face superior do piso elevado

--- Altura Janela (Hj)

--- Área de piso (Ap)

--- Volume (V)

--- Área de Fachada (Af)

--- Área de Janela (Aj)

- Indicadores dimensionais arquitetônicos (colunas calculadas)

--- WWR [Aj/Af]

--- WFR [Aj/Ap]

--- Aproveitamento de iluminação natural lateral: Profundidade estimada (AILpe) [VSj*1.5]

--- Npav : número de pavimentos (Ex.: 20)

--- AoPav (Área ocupada do pavimento) [soma ApZN1...ZNn]

--- AoT (Área ocupada total) [soma ApZN1...ZNn]*Npav]

Elaborado pela autora (2023)

Figura 66 – Ampliação Painel Informativo: Tela Inicial – Parte 2 de 2

The image displays the P-BALANCE software interface, which is a dashboard for energy and thermal analysis. At the top right, there is a logo for 'P-BALANCE' featuring a house icon. Below the logo, a list of data cards is shown, each with a blue database icon:

- Resultados Modelos: Carga Térmica (CT) + Eficiência Energética (EE)
- Resultados Modelos: Térmico
- Resultados Modelos: Lumínico
- Resultados Zonas: Térmico e Lumínico

The main part of the interface is a central workspace containing a complex flow diagram. This diagram illustrates the relationships between various data sources and models. The nodes in the diagram include:

- Dados Videos** (ID Video)
- DadosPersoas** (ID Pessoa)
- DadosModelos** (ID Ambiente, ID Modelo, ID Pessoa, ID Video)
- RES ModelosCons CT** (ID Modelo)
- RES ModelosLum** (ID Modelo)
- RES ModelosTerm** (ID Modelo)
- RES ZonasLum** (ID Ambiente)
- RES ZonasTerm** (ID Ambiente)
- Ambientes-Composi...** (ID Ambiente, ID Modelo)

The diagram shows how data from 'Dados Videos' and 'DadosPersoas' feeds into 'DadosModelos', which then connects to various 'RES Modelos' and 'RES Zonas' components. The 'Ambientes-Composi...' node also interacts with the 'RES Modelos' and 'RES Zonas' components. The interface includes a standard Windows-style menu bar (Arquivo, Página Inicial, Ajuda) and a toolbar with various icons for file operations and data management. A search bar is visible on the right side of the interface.

Elaborado pela autora (2023)

4.3 Painel de Análise do Clima

Este painel é apresentado no **Quadro 25** e nas **Figuras 67 a 70** a seguir.

Quadro 25 – Quadro Resumo: Painel de Análise do Clima

Painel de Análise 0: Clima	<p>Descrição: Apresenta análises de dados do arquivo climático, sempre de forma relativa ao período de ocupação considerado na análise do edifício.</p> <p>Estas análises permitem ao consultor ou analista relacionar o projeto em análise às variáveis do clima. Esta é uma abordagem orientada ao projeto. Usualmente, as análises de dados climáticos são focadas apenas nas variáveis do clima, de modo isolado.</p>
Recursos Disponíveis para análise	<p>Gráficos comparativos entre percentuais de horas anuais e de horas ocupadas para intervalos de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar total, radiação solar difusa e radiação solar direta. Estas são as variáveis climáticas diretamente associadas ao desempenho do edifício, considerando os indicadores analisados.</p>
Técnicas de Visualização aplicadas	<ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de Barras, sem espaço entre as barras para representar partes do todo. • A atribuição de diferentes cores para cada gráfico tem como objetivo promover a percepção pré-atentiva de que cada gráfico trata de uma diferente variável climática. Uma equipe de projeto que utilize a ferramenta reiteradamente, ao longo de vários projetos deverá fixar a relação entre cores e variáveis climáticas.
Método de Avaliação Proposto	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura de conforto; • Identificar o percentual de horas com umidade relativa acima da umidade de setpoint do ar-condicionado; • Identificar o percentual de horas ocupadas com radiação solar superior ao setpoint de acionamento de persianas.
Painéis Informativos Associados	<p>Não aplicável para este painel.</p>

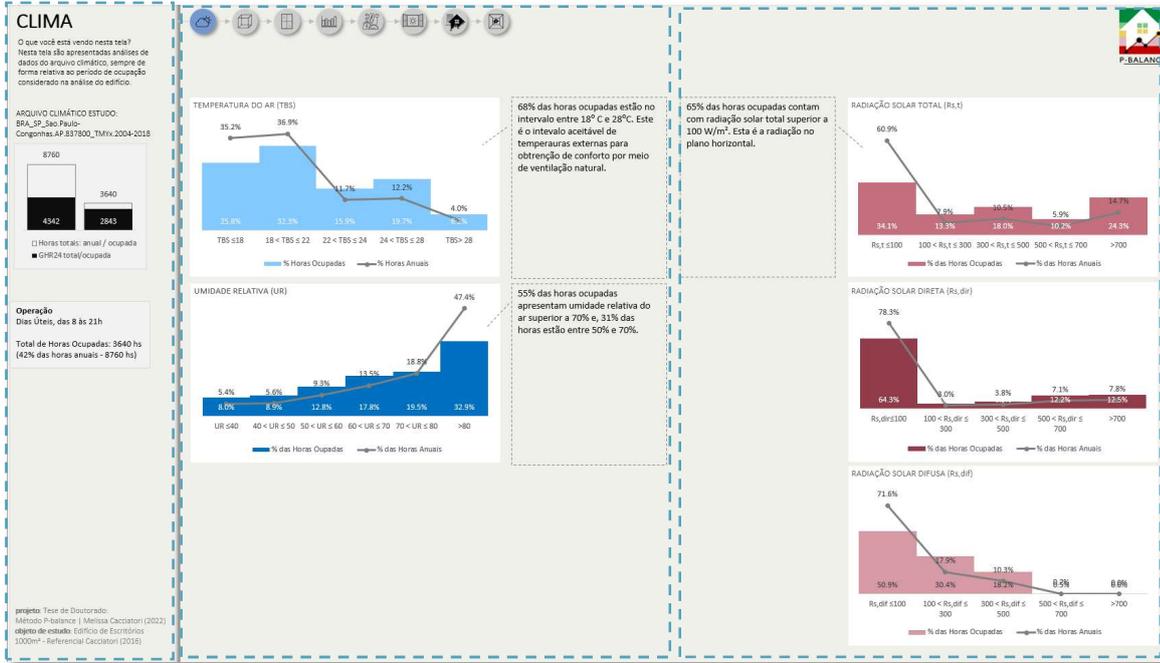
Elaborado pela autora (2023)

Figura 67 - Painel de Análise do Clima

Ver Ampliação:
Figura 68

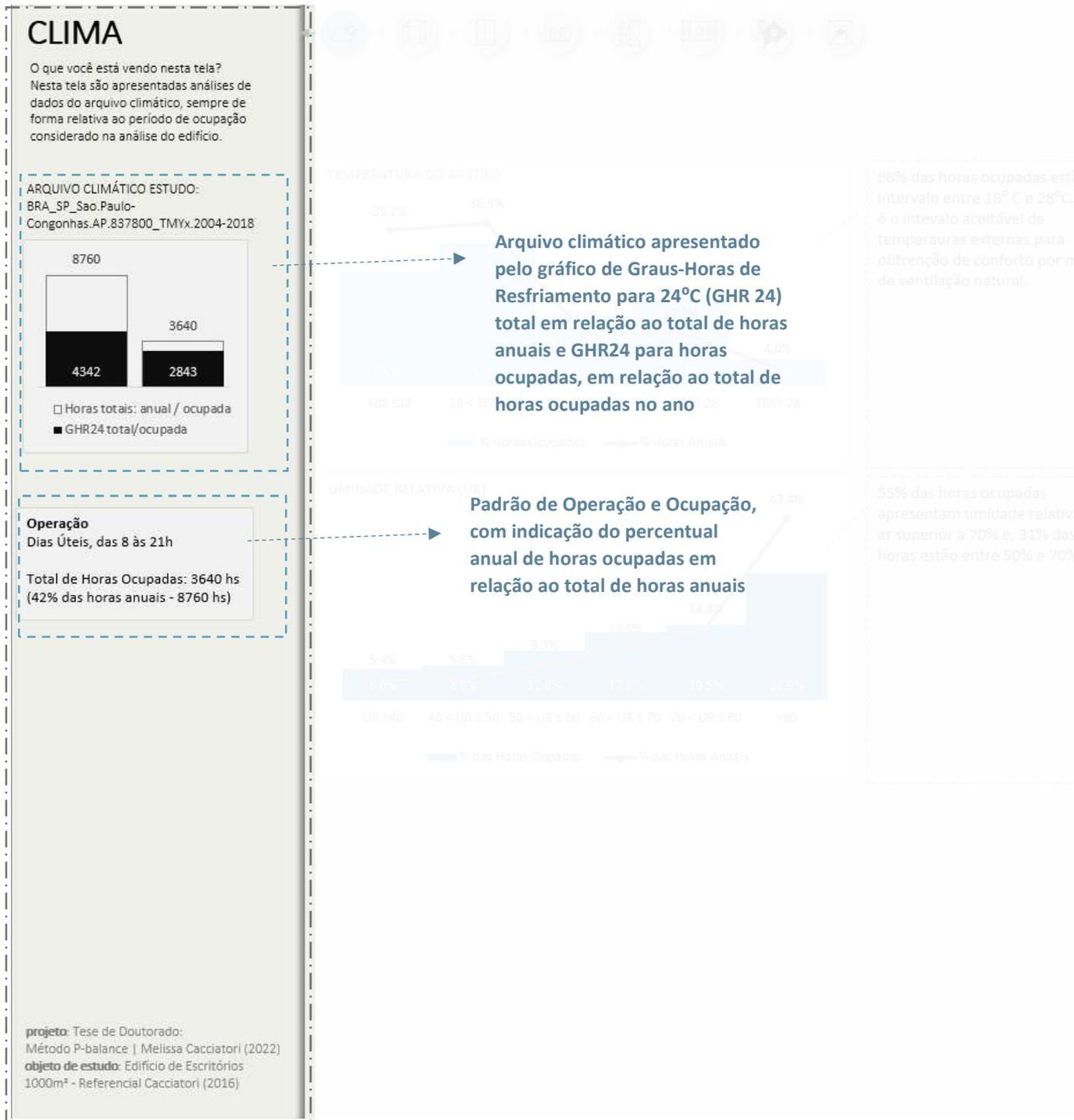
Ver Ampliação:
Figura 69

Ver Ampliação:
Figura 70



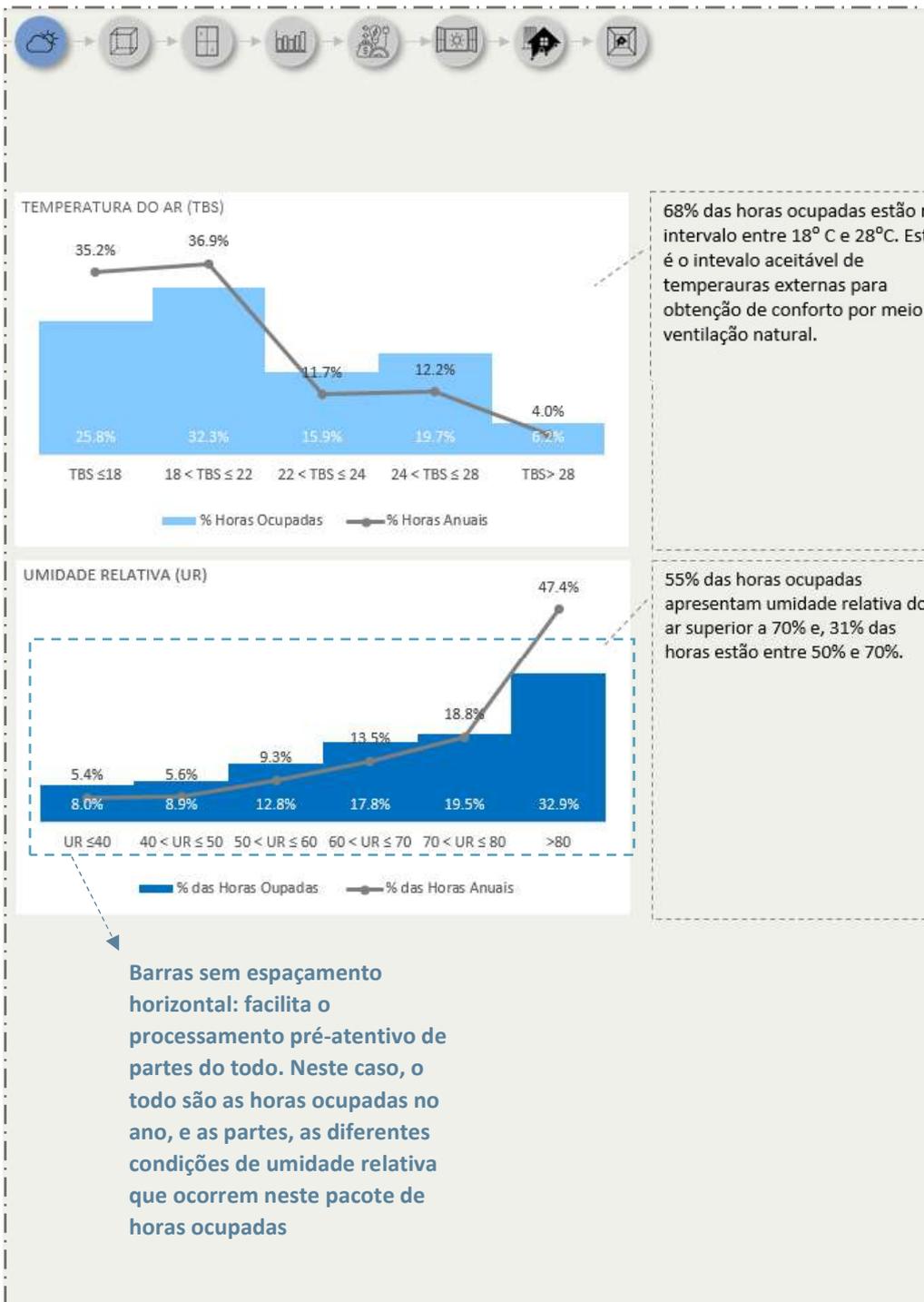
Elaborado pela autora (2023)

Figura 68 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 1 de 3



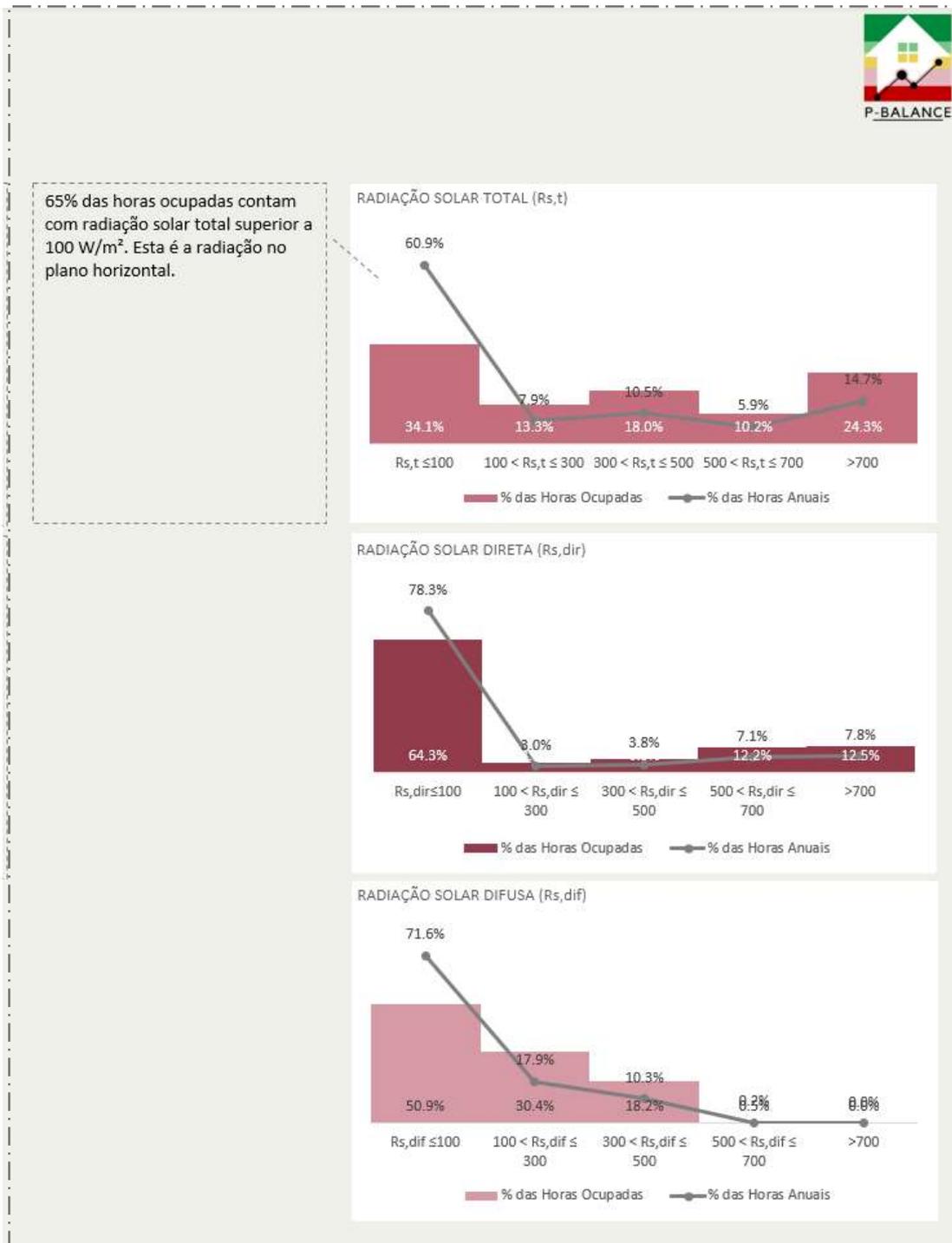
Elaborado pela autora (2023)

Figura 69 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 2 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 70 - Ampliação Painel de Análise do Clima – Parte 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

4.4 Painel de Análise da Arquitetura

Este painel é apresentado no **Quadro 26** e nas **Figuras 71 a 73** a seguir.

Quadro 26 – Quadro Resumo: Painel de Análise da Arquitetura

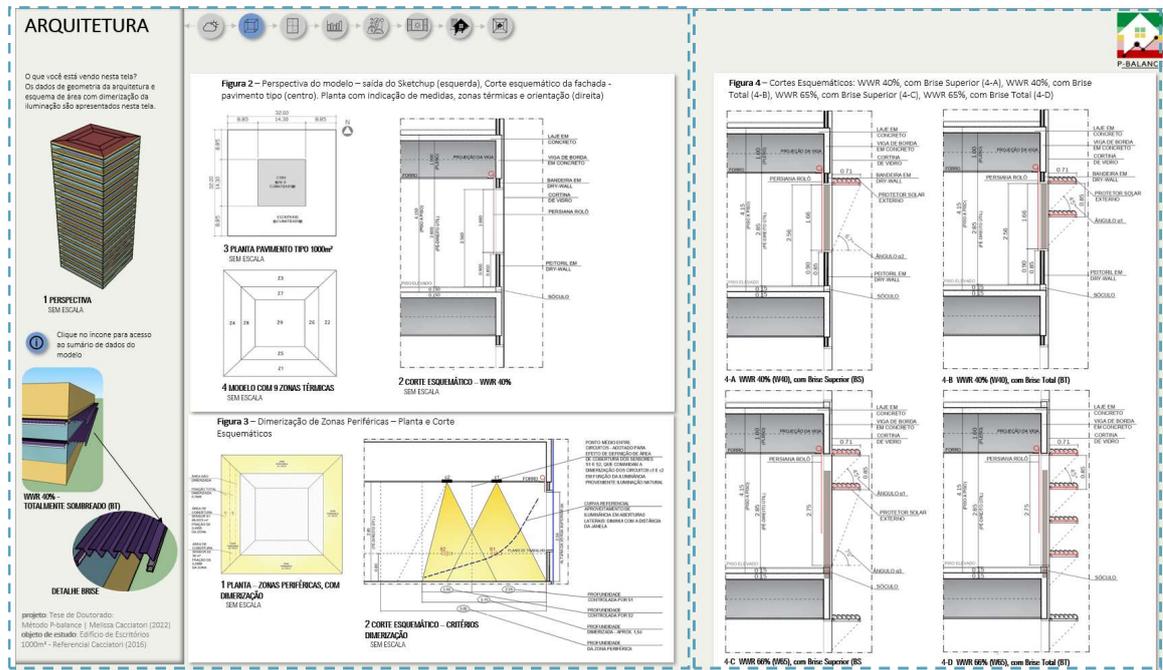
Painel de Análise 1: Arquitetura	Descrição: Apresenta os dados de geometria da arquitetura e o esquema de área com dimerização da iluminação são apresentados nesta tela.
Recursos Disponíveis para análise	Desenhos arquitetônicos: cortes, plantas, perspectivas e detalhes.
Técnicas de Visualização aplicadas	Disposição de desenhos em blocos destacados com o branco como cor de fundo para indicar conjuntos.
Método de Avaliação Proposto	A organização e expressão dos detalhes e arquitetônicos e dos modelos geométricos simplificados adotados na simulação fazem parte do método de avaliação na medida em que: <ol style="list-style-type: none"> 1. Em um processo de consultoria, a leitura de desenhos e correta interpretação de detalhes é fundamental para os processos de modelagem; 2. Permite a comunicação entre agentes de projeto.
Painéis Informativos Associados	Painel Informativo Análise da Arquitetura (Figura 74). Este painel apresenta uma Tabela com o resumo dos principais dados da arquitetura e sistemas considerados na elaboração dos modelos para simulação e avaliação. Apresentado anteriormente na Tabela 1, seção 3.1.1.

Elaborado pela autora (2023)

Figura 71 - Painel de Análise da Arquitetura

Ver Ampliação: Figura 72

Ver Ampliação: Figura 73



Elaborado pela autora (2023)

Figura 72 - Ampliação Painel de Análise da Arquitetura – Parte 1 de 2

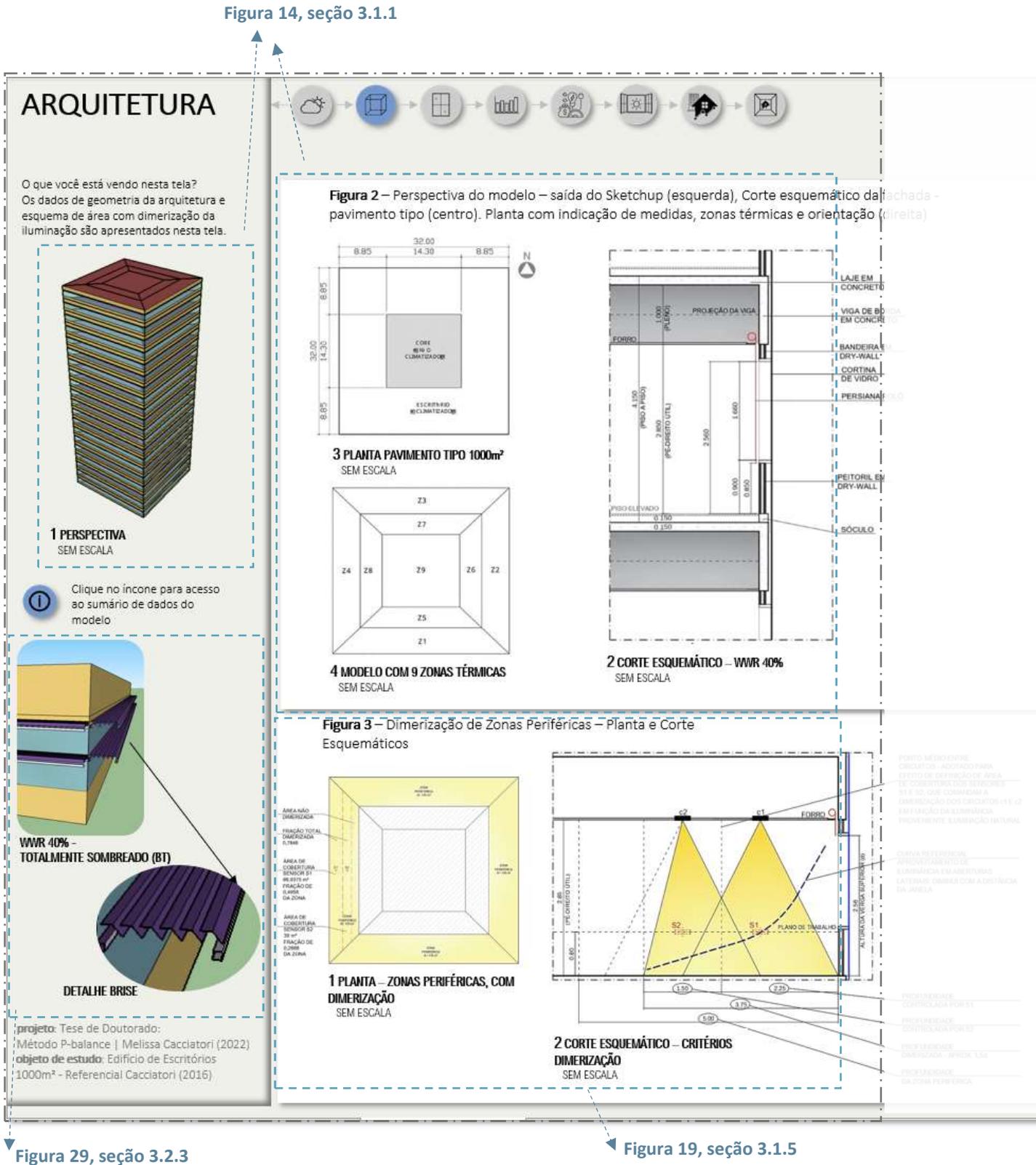
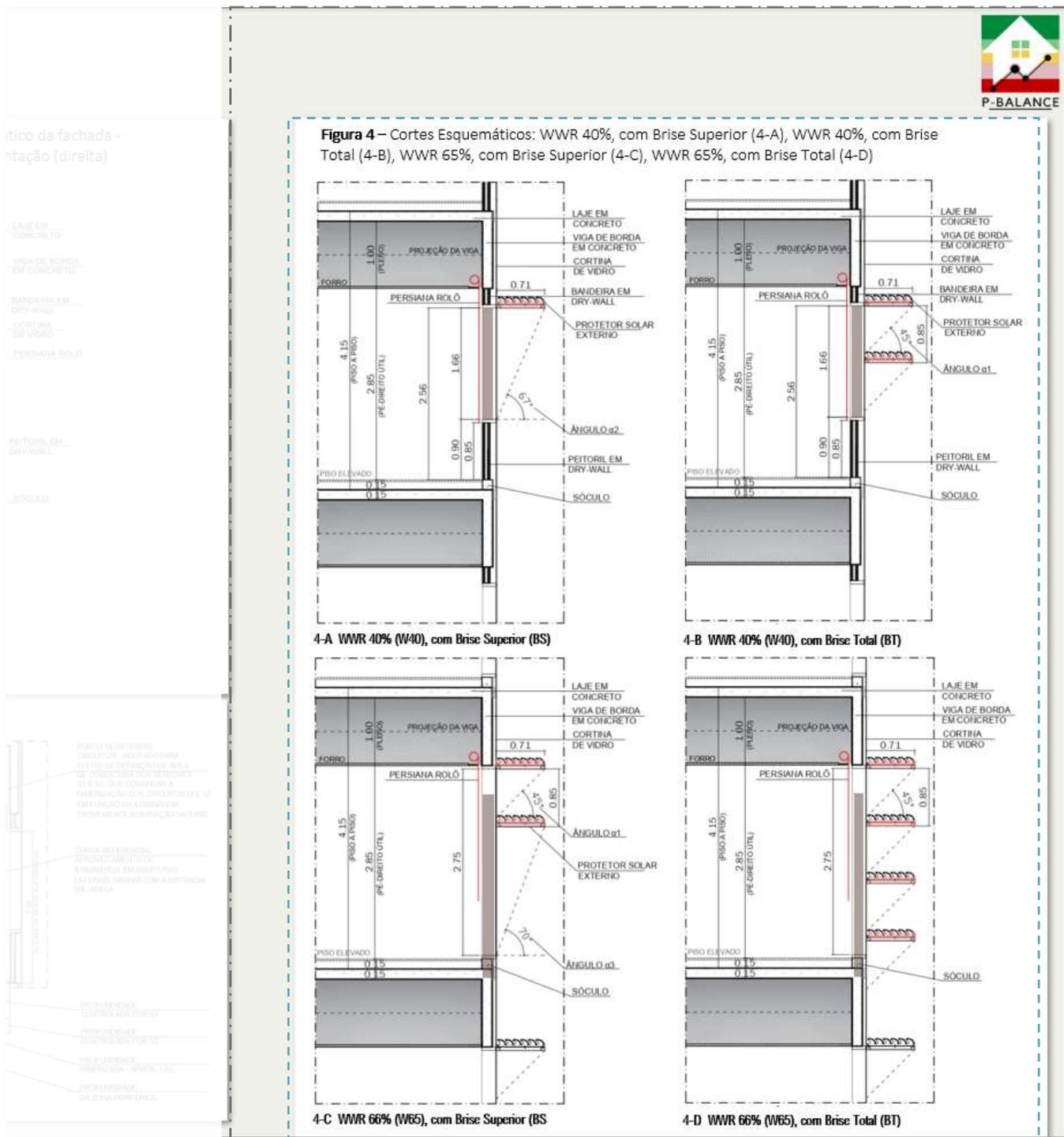


Figura 73 - Ampliação Painel de Análise da Arquitetura – Parte 2 de 2



Elaborado pela autora (2023)

Figura 17, seção 3.1.4

Figura 74 - Painel Informativo Análise da Arquitetura

SUMÁRIO
ARQUITETURA

O que você está vendo nesta tela?
Um quadro com o resumo das características da arquitetura, classificadas como fixas nos modelos de análise e variáveis, quando se tratam de características com variações paramétricas



Condição	Características / Parâmetros do modelo	Unidade	MODELO PROPOSTO
FIXO	Clima / Arquivo climático		São Paulo / BRA_SF_SaoPaulo-Congonhas AP.837800 TMYx.2004-2018
FIXO	Edifício / Tipologia de Referência	-	Edifício Comercial
FIXO	Número de pavimentos	un	20
FIXO	Orientação	-	Norte
FIXO	Área Pavimento tipo	(m ²)	1.024
FIXO	Área Climatizada Pavimento tipo	(m ²)	819,51
FIXO	Área Total	(m ²)	20.480
FIXO	Área Climatizada Total	(m ²)	16.390,20
FIXO	Área Total de Fachada	(m ²)	10.624
FIXO	Volume de Pavimento Tipo	(m ³)	4.249,60
FIXO	Altura de laje a laje	(m)	4,15
FIXO	Pé-direito útil	(m)	2,85
FIXO	Paredes externas	-	Vidro + peitoril interno em dry-wall / Vidro + vigas de borda em concreto
FIXO	Paredes internas	-	Dry-wall
FIXO	Lajes entre pisos	-	Concreto
FIXO	Torro	-	Cesso
FIXO	Cobertura	-	Laje de concreto impermeabilizada, com isolamento térmico
FIXO	Revestimento da Fachada	-	Cortina de vidro
VARIÁVEL	WWR	(%)	clique para detalhes
VARIÁVEL	Brises	-	clique para detalhes
VARIÁVEL	Vidros	-	clique para detalhes
VARIÁVEL	Persianas	-	clique para detalhes
FIXO	Persianas - Setpoint de acionamento	(W/m ²)	141
FIXO	Densidade de Ocupação	(m ² /pessoas)	7
FIXO	Densidade de potência de iluminação	(W/m ²)	7
FIXO	Densidade de potência de equipamentos	(W/m ²)	16,2
FIXO	Densidade de potência interna total	(W/m ²)	40,3
FIXO	Ar Condicionado - Tipologia	-	Sistema Central de Ar-condicionado - Chiller parafuso com condensação a água - Sistema de bombeamento: circuito primário constante com secundário variável (ASHRAE)
FIXO	Ar Condicionado - Setpoint de temperatura para Aquecimento	(°C)	20
FIXO	Ar Condicionado - Setpoint de temperatura para Resfriamento	(°C)	24
FIXO	Ar Condicionado - COP (W/W)	(W/W)	5172
FIXO	Ar Condicionado - Capacidade do sistema	TR	618
FIXO	Ar Condicionado - Renovação de Ar	(m ³ /hora/pessoa)	27
FIXO	Controle de Iluminação	-	Dimerização de Iluminação Geral das zonas periféricas (fracção de dimerização: 0,78) - DPI 5.5 W/m ² , set-point 300 lux. Iluminação complementar de tarefa (1.5 W/m ²) não dimerizada

SUMÁRIO
ARQUITETURA

O que você está vendo nesta tela?
Um quadro com o resumo das características da arquitetura, classificadas como fixas nos modelos de análise e variáveis, quando se tratam de características com variações paramétricas

Tabela 1, seção 3.1.1

Elaborado pela autora (2023)

4.5 Painel de Avaliação Integrada do Edifício

Este painel é apresentado no **Quadro 27** e nas **Figuras 75 a 78** a seguir.

Quadro 27 – Quadro Resumo: Painel de Avaliação Integrada do Edifício

Painel de Avaliação Integrada – Edifício	Descrição: Apresenta as análises avaliação integrada global do edifício.
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visualização P-Balance, composta por: <ul style="list-style-type: none"> - Gráfico P-Balance; - Barra de Indicadores Estatísticos; - Mapa de Indicadores; • Mini gráficos do perfil de desempenho; <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas; • Gráfico P-Balance de Análise de Ambientes; • Gráfico de Composição de Cargas Térmicas.
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Análise Inicial Exploratória para entender o conjunto de dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Analisar as relações entre perfis e espaçamentos entre nós no gráfico P-Balance para identificar quais indicadores são mais sensíveis às variações paramétricas; ➤ Verificar valores da Barra de Indicadores Estatísticos, que devem confirmar a visualização do gráfico P-Balance; ➤ Verificar Ranking; <p>Rota de seleção do modelo de maior desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Selecionar apenas modelos com Ranking acima de “zero” – modelos com este indicador são as referências; ➤ Filtrar colunas pela cor “verde”, quando necessário; ➤ Confirmar atendimento de premissas e restrições do projeto; ➤ Finalizar seleção do modelo. <p>Rota de seleção do modelo por parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Selecionar parâmetros desejados; ➤ Verificar ranking e nível de atendimento dos indicadores; ➤ Confirmar entre a equipe de projetos se os níveis de atendimento são aceitáveis; ➤ Confirmar atendimento de premissas e restrições do projeto; ➤ Finalizar seleção do modelo.
Painéis Informativos Associados	Painel Informativo de Avaliação Integrada do Edifício (Figura 79). Este painel apresenta os indicadores e seus critérios, o processo

de formatação das barras de critérios do gráfico P-Balance e outras informações de apoio sobre os indicadores.

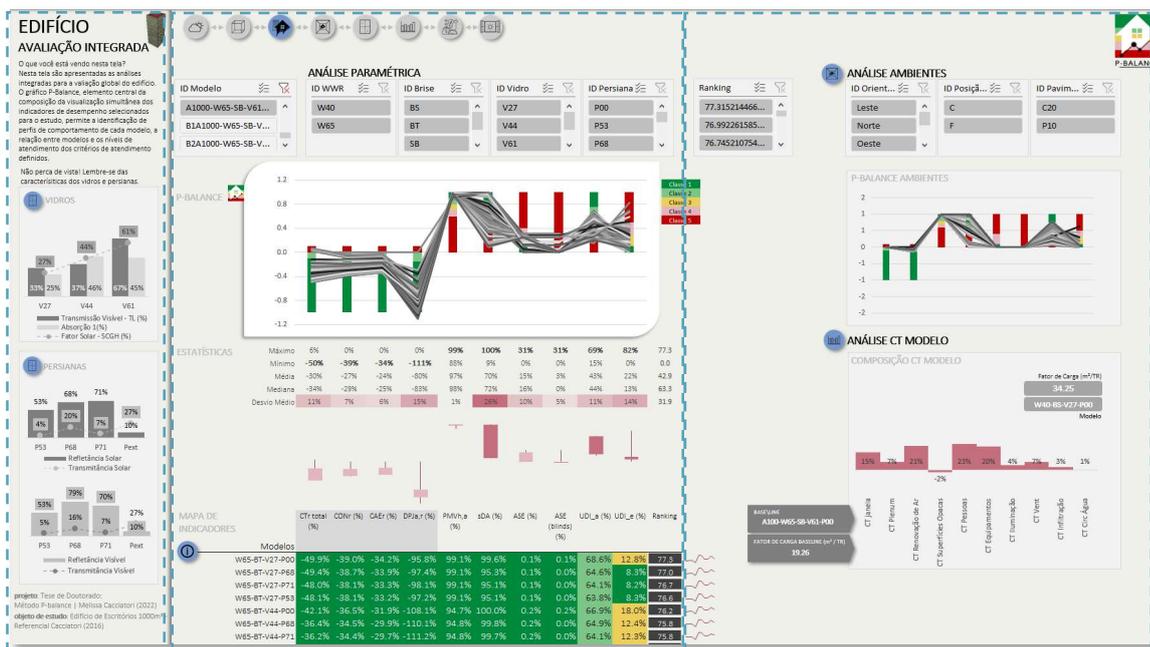
Elaborado pela autora (2023)

Figura 75 - Painel de Avaliação Integrada do Edifício

Ver Ampliação: Figura 76

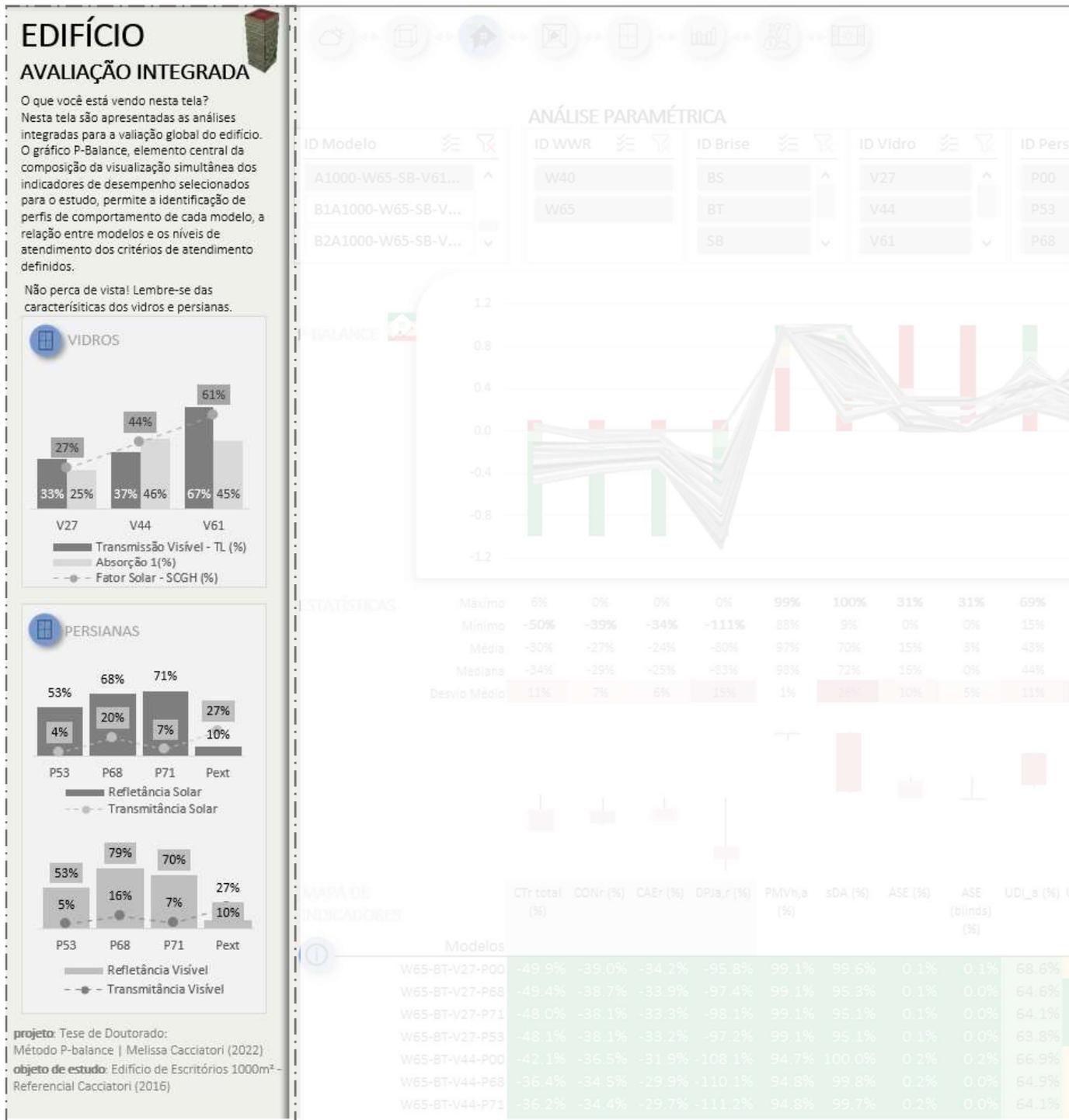
Ver Ampliação: Figura 77

Ver Ampliação: Figura 78



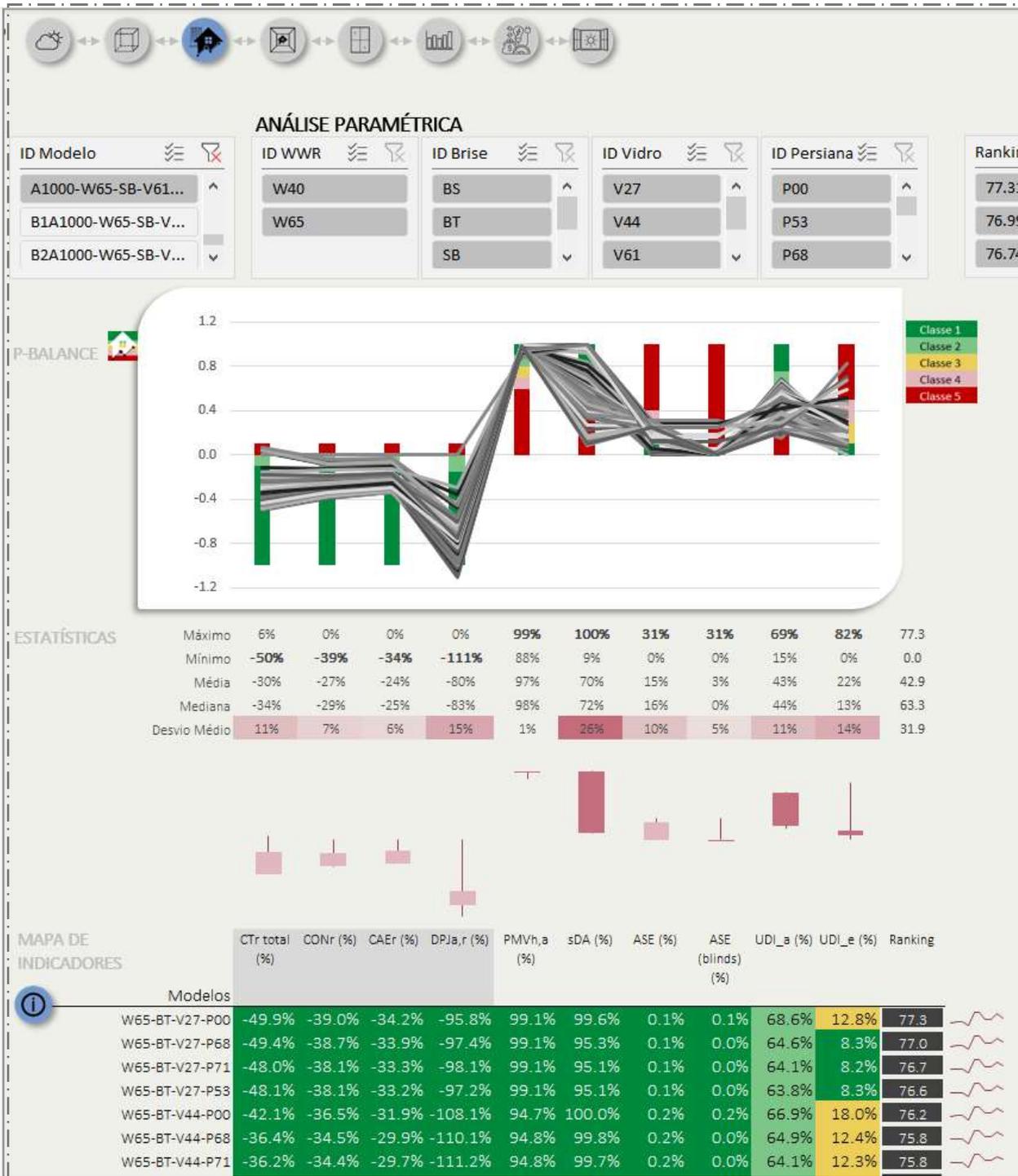
Elaborado pela autora (2023)

Figura 76 – Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 1 de 3



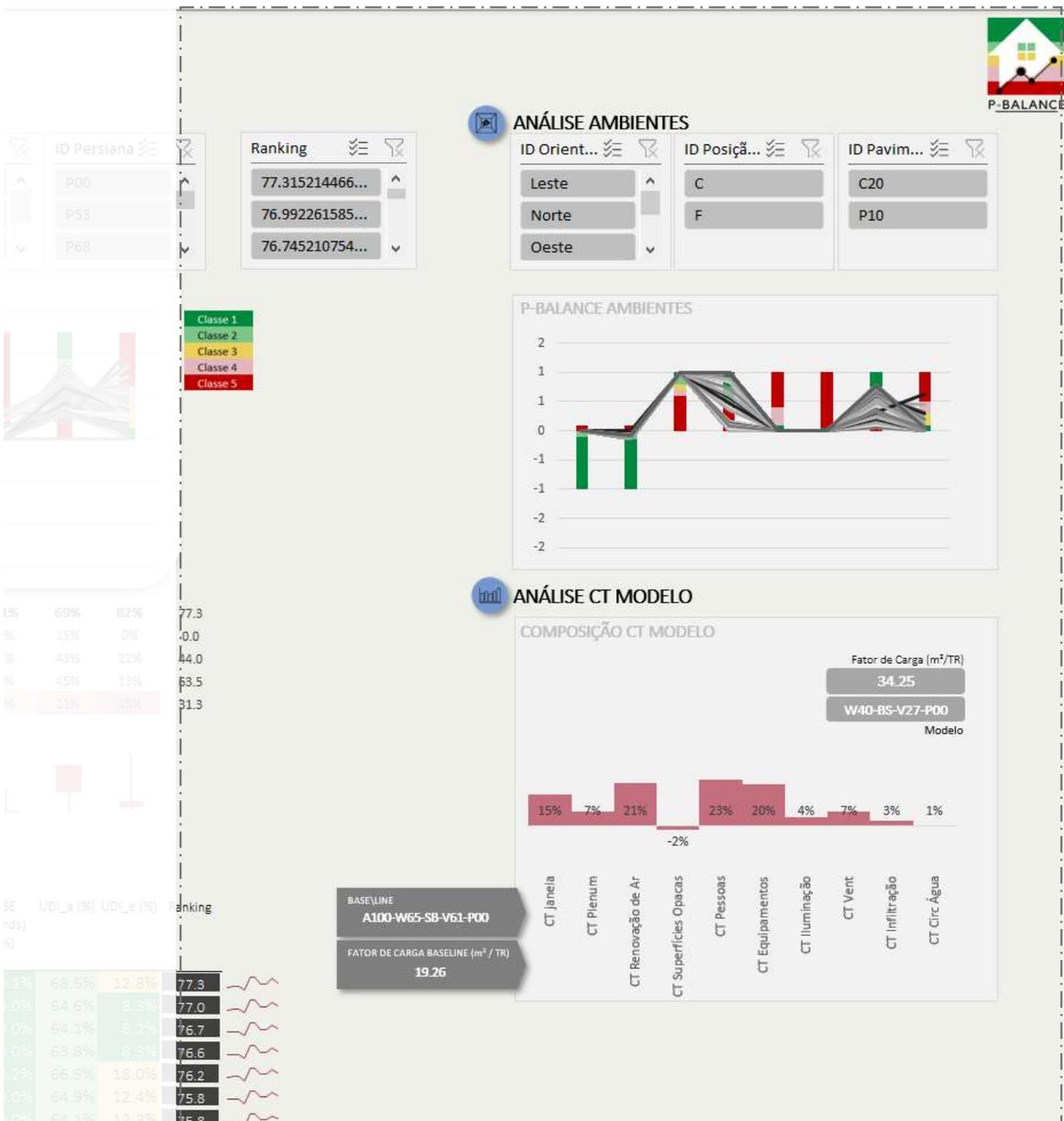
Elaborado pela autora (2023)

Figura 77 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 2 de 3



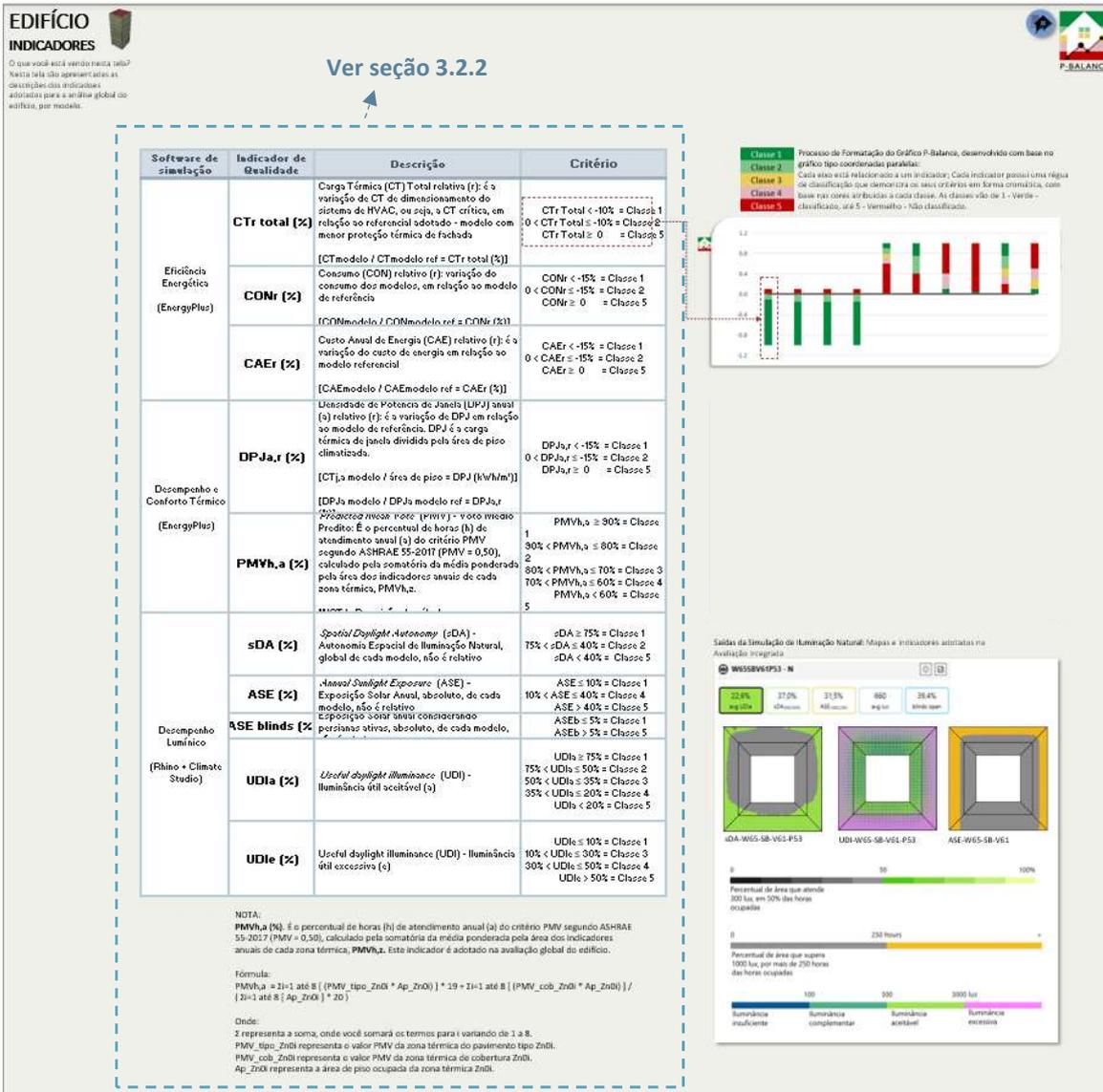
Elaborado pela autora (2023)

Figura 78 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada do Edifício – Parte 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 79 - Painel Informativo de Avaliação Integrada do Edifício



Elaborado pela autora (2023)

4.6 Painel de Avaliação Integrada por Ambiente

Este painel é apresentado no **Quadro 28** e nas **Figuras 80 a 83** a seguir.

Quadro 28 – Quadro Resumo: Painel de Análise de Avaliação Integrada por Ambiente

Painel de Avaliação Integrada – Ambientes	Descrição: Apresenta as análises para avaliação integrada por ambiente.
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visualização P-Balance, composta por: <ul style="list-style-type: none"> - Gráfico P-Balance; - Barra de Indicadores Estatísticos - Mapa de Indicadores • Mini gráficos do perfil de desempenho; <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas. • Gráfico P-Balance de Análise do Edifício • Gráfico de Composição de Cargas Térmicas
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Análise Inicial Exploratória para entender o conjunto de dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Selecionar uma orientação, a posição fachada (F) e Pavimento que não seja cobertura (P10); ➤ Analisar as relações entre perfis e espaçamentos entre nós no gráfico P-Balance para identificar quais indicadores são mais sensíveis às variações paramétricas; ➤ Verificar valores da Barra de Indicadores Estatísticos, que devem confirmar a visualização do gráfico P-Balance; ➤ Verificar Ranking. <p>Rota de seleção do ambiente-modelo de maior desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar este processo para cada orientação; ➤ Selecionar apenas modelos com Ranking acima de “zero”; ➤ Filtrar colunas pela cor “verde”; ➤ Confirmar atendimento de premissas e restrições do projeto; ➤ Finalizar seleção do modelo. <p>Rota de seleção do ambiente-modelo por parâmetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar este processo para cada orientação; ➤ Selecionar parâmetros desejados; ➤ Verificar ranking e nível de atendimento dos indicadores; ➤ Confirmar entre a equipe de projetos se os níveis de atendimento são aceitáveis; ➤ Confirmar atendimento de premissas e restrições do projeto; ➤ Finalizar seleção do modelo.

Painéis Informativos Associados

Painel Informativo de Avaliação Integrada do Ambiente (**Figura 84**). Este painel apresenta os indicadores e seus critérios, o processo de formatação das barras de critérios do gráfico P-Balance e outras informações de apoio sobre os indicadores.

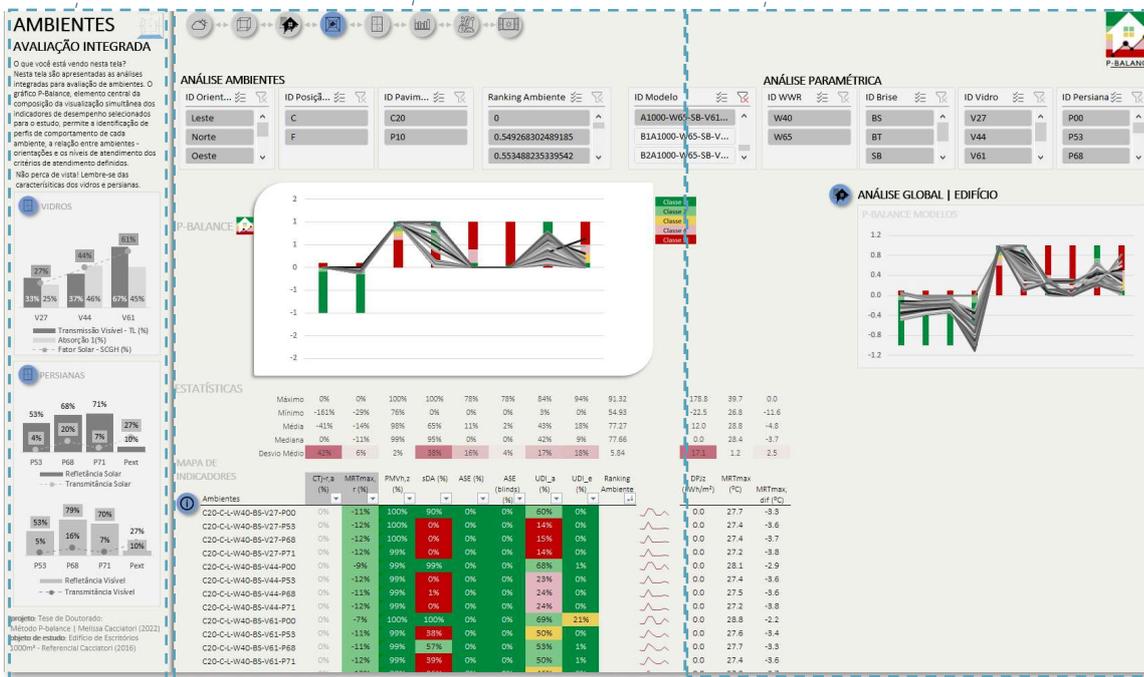
Elaborado pela autora (2023)

Figura 80 - Painel de Análise de Avaliação Integrada por Ambiente

Ver Ampliação: Figura 81

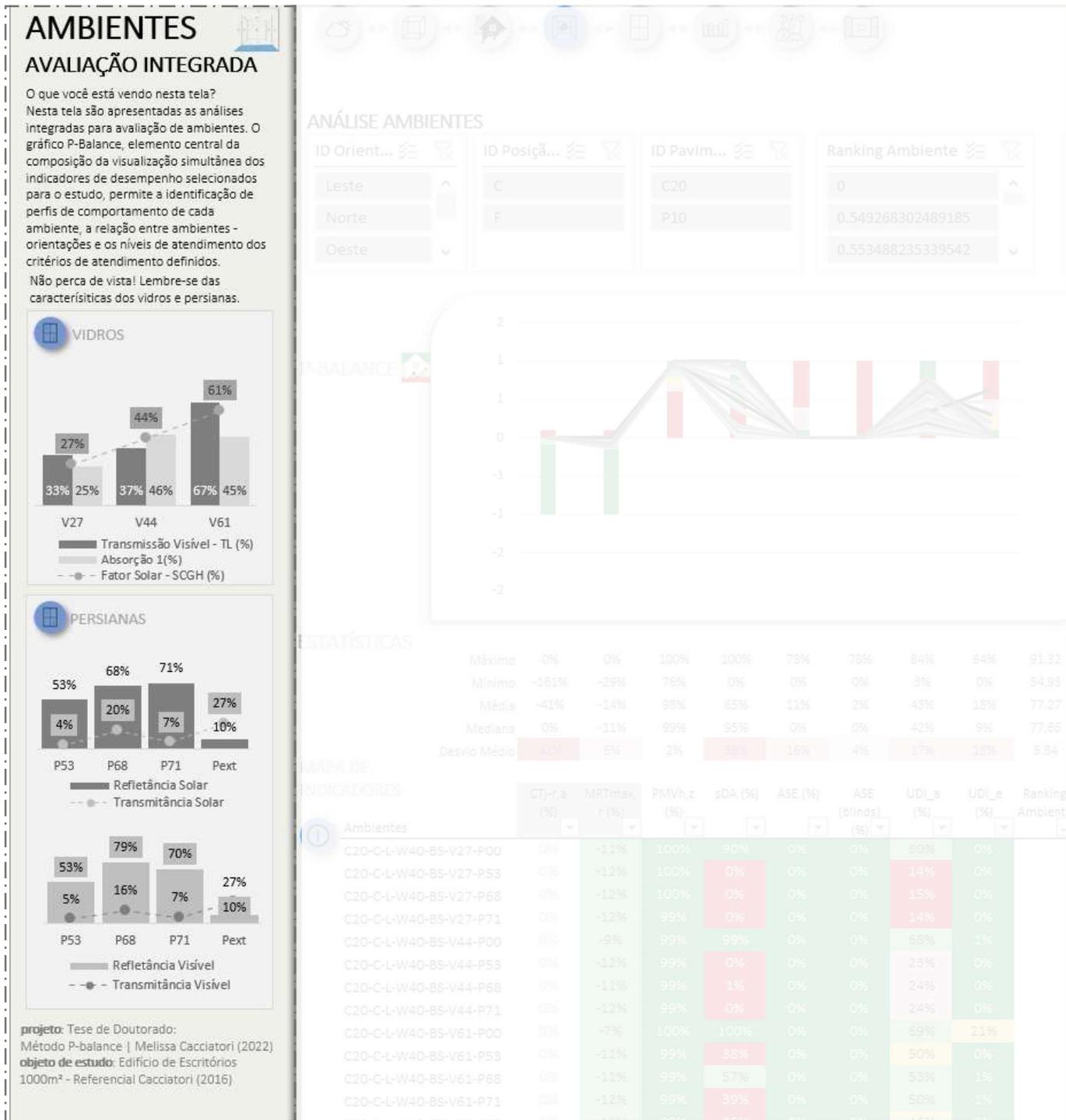
Ver Ampliação: Figura 82

Ver Ampliação: Figura 83



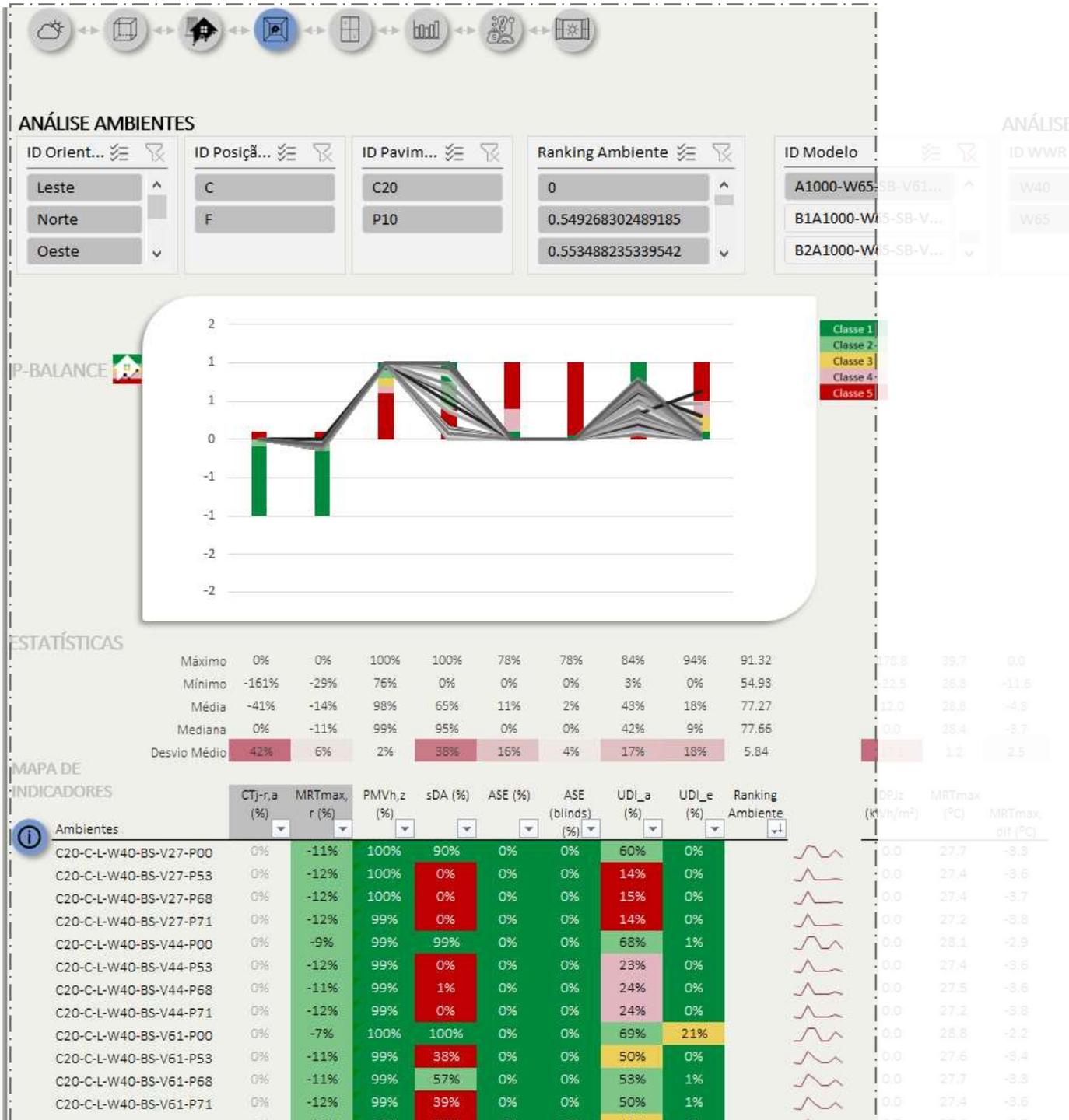
Elaborado pela autora (2023)

Figura 81 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 1 de 3



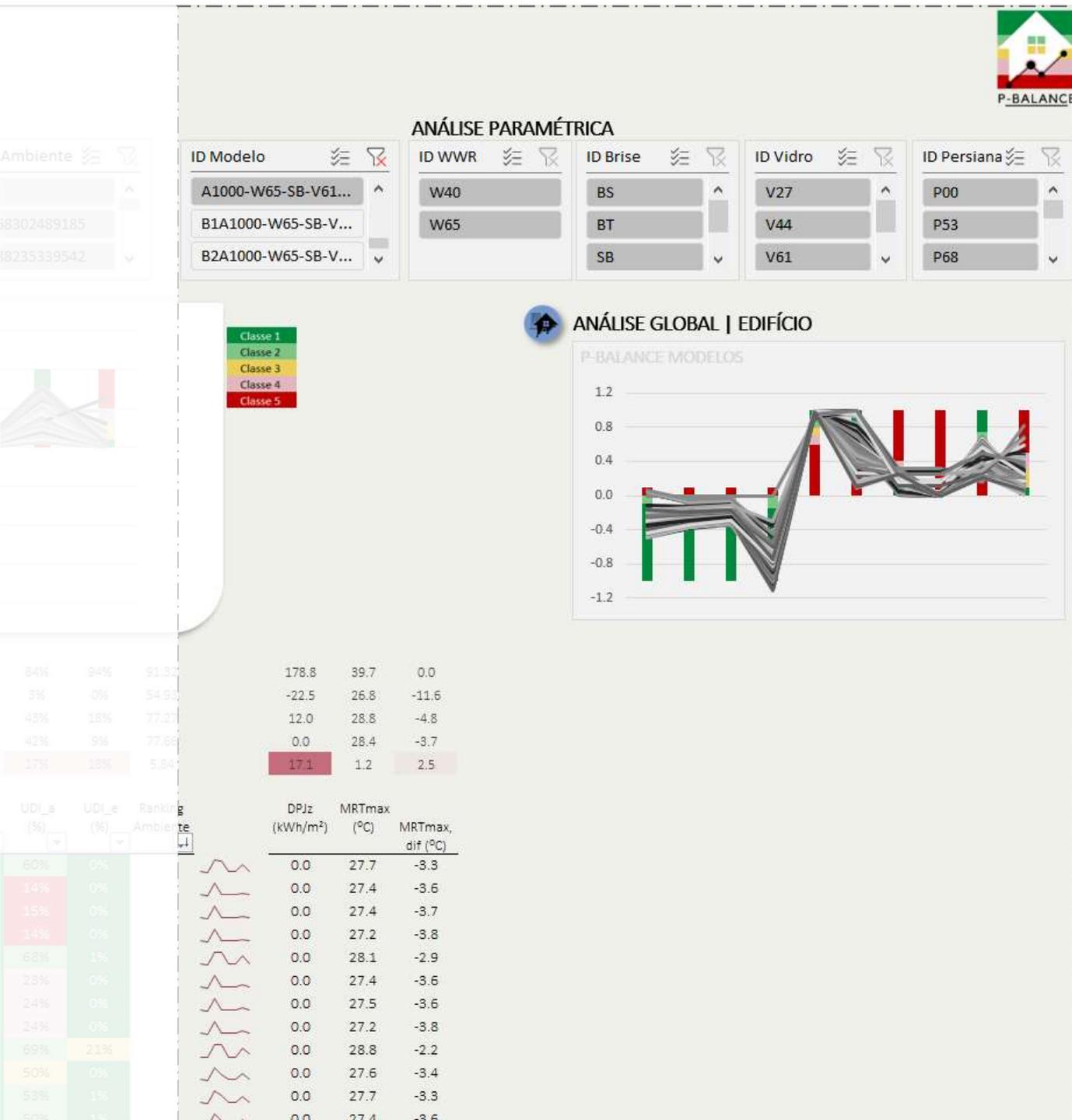
Elaborado pela autora (2023)

Figura 82 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 2 de 3



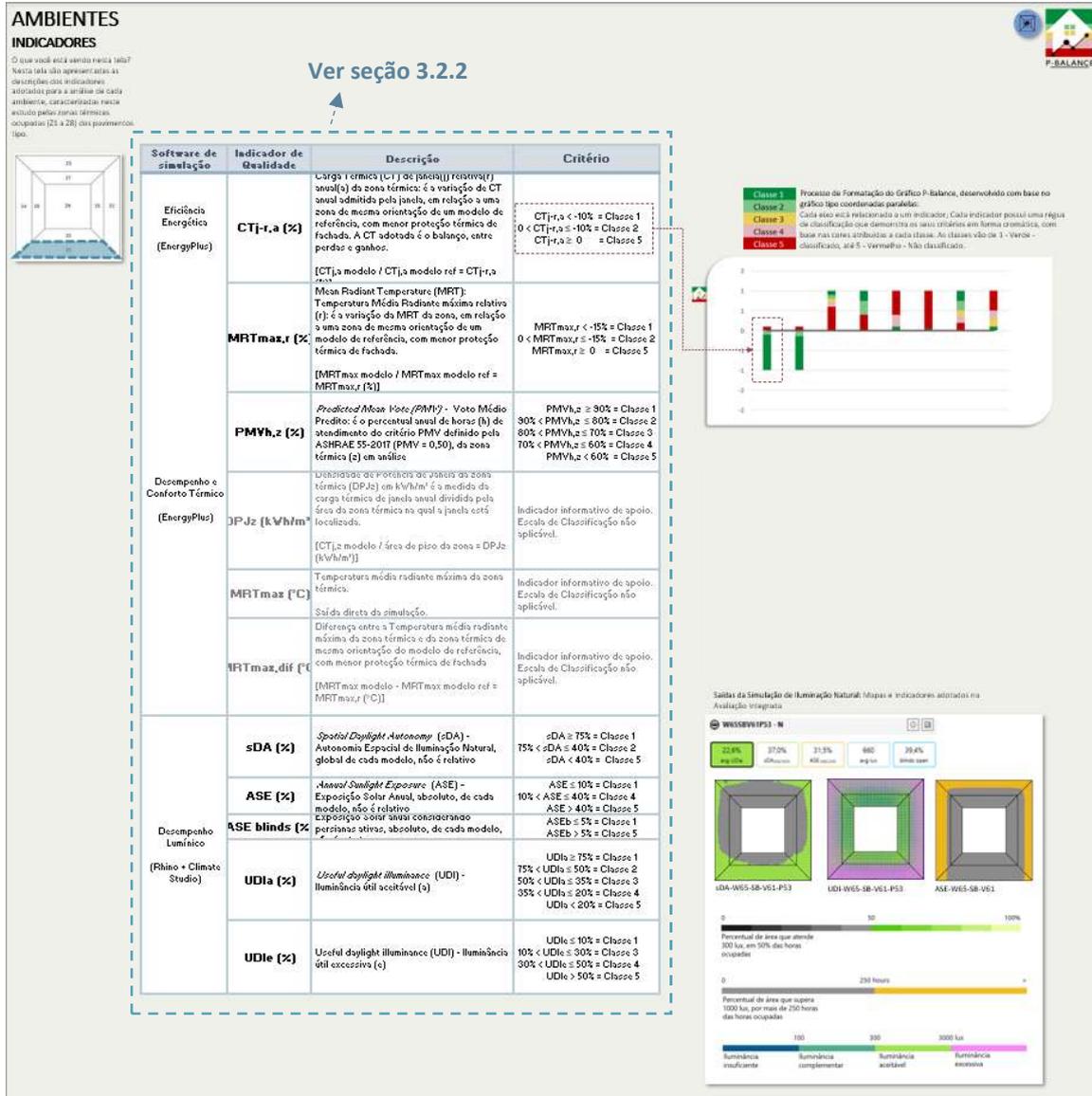
Elaborado pela autora (2023)

Figura 83 - Ampliação Painel de Avaliação Integrada por Ambiente – Parte 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 84 - Painel Informativo de Avaliação Integrada por Ambientes



Elaborado pela autora (2023)

4.7 Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas

Este painel é apresentado no **Quadro 29** e nas **Figuras 85 a 88** a seguir.

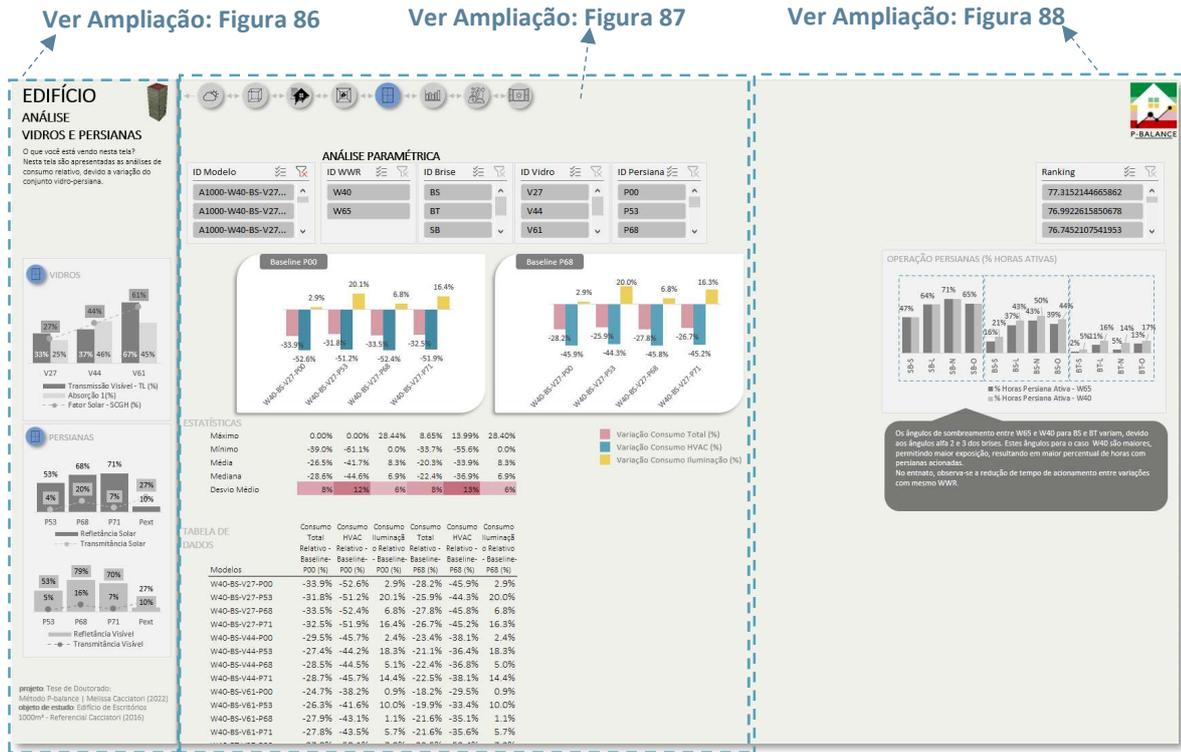
Quadro 29 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas

Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas	Descrição: Apresenta as análises de consumo relativo, devido à variação do conjunto vidro-persiana.
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Gráficos comparativos entre modelos com variações do conjunto vidro-persiana, considerando 3 variáveis de consumo de energia: Consumo Total, Consumo de Ar-Condicionado e Consumo com Iluminação Artificial. Um dos gráficos tem como referencial o modelo sem persianas (P00) e o outro o referencial (P68) que é a persiana branca. As medidas de Consumo analisadas são sempre relativas aos referenciais, de modo que o Consumo total por exemplo, é a relação entre o consumo do modelo analisado e o do referencial, P00 ou P68; • Barra de Indicadores de Estatística; • Tabela de Valores. <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas; • Gráficos de Percentual de horas em que as persianas estão ativas.
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Tendo como foco a análise do comportamento das composições vidro-persiana com base em seu impacto nos indicadores de consumo, esta análise poderá ser realizada de modo complementar para auxiliar na compreensão mais aprofundada do efeito da variação de parâmetros destes elementos. Processo de análise:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explorar e analisar gráficos complementares: propriedades dos materiais – vidros e persianas e percentual de tempo ativo das persianas; 2. Selecionar um WWR e um Tipo de Brise, para formar um conjunto de modelos nos quais apenas o conjunto vidro-persiana seja variável; 3. Verificar valores da Barra de Indicadores Estatísticos; 4. Leitura da Barra de Indicadores de Estatística; 5. Analisar gráficos centrais para estabelecer relações entre propriedades dos materiais, percentual de tempo ativo de persianas que relaciona o dispositivo com variáveis climáticas e de arquitetura, e o impacto em variáveis de consumo.

<p>Painéis Informativos Associados</p>	<p>Não aplicável.</p>
---	-----------------------

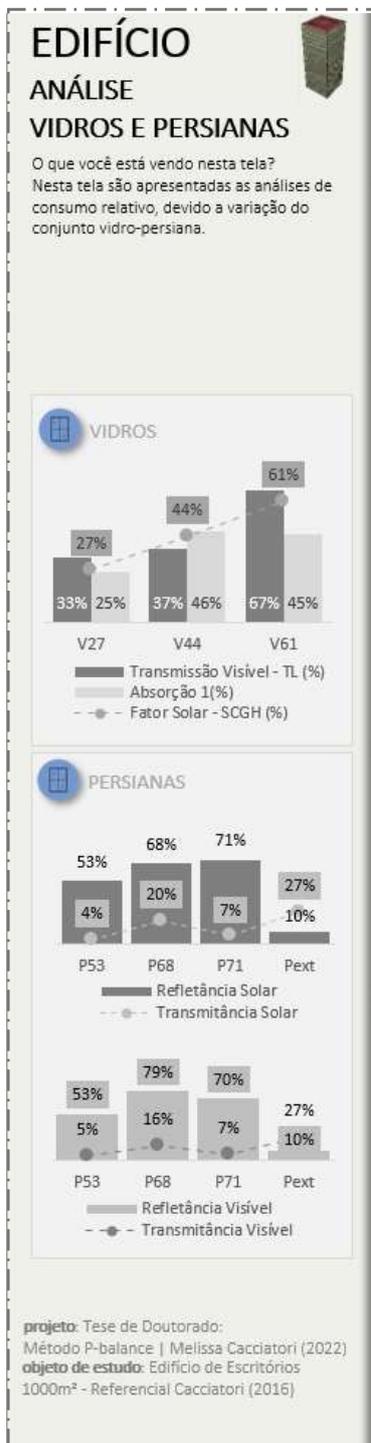
Elaborado pela autora (2023)

Figura 85 - Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas



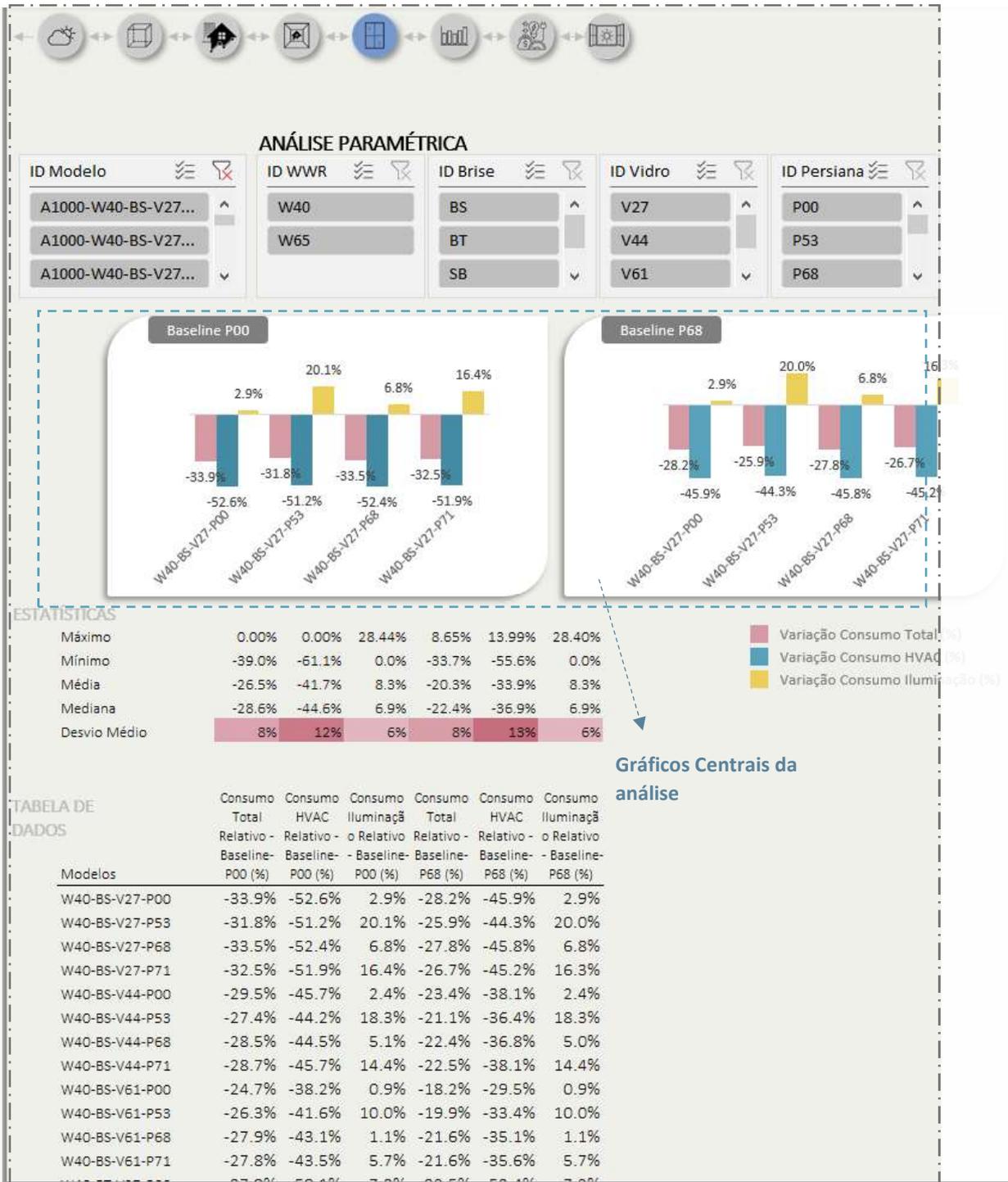
Elaborado pela autora (2023)

Figura 86 – Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 1 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 87 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 2 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 88 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Vidros e Persianas – Parte 3 de 3

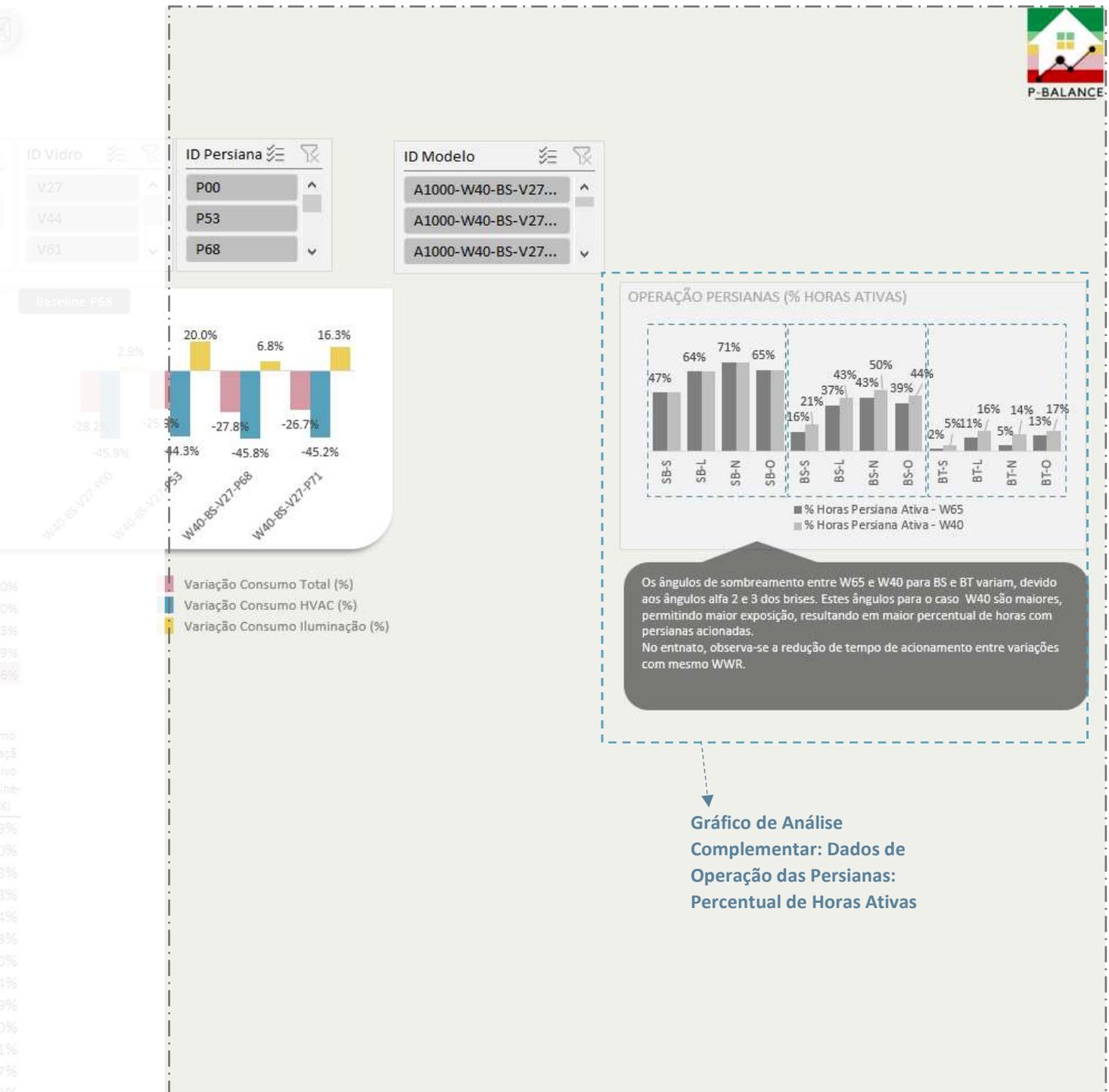


Gráfico de Análise Complementar: Dados de Operação das Persianas: Percentual de Horas Ativas

4.8 Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício

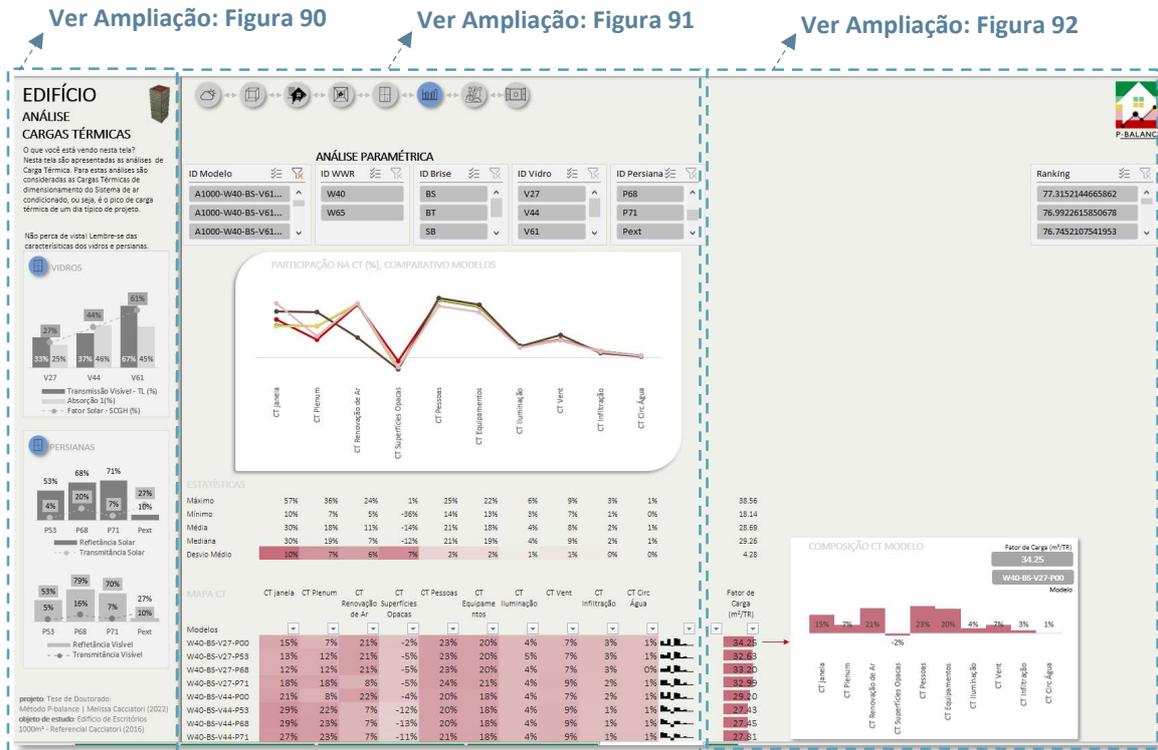
Este painel é apresentado no **Quadro 30** e nas **Figuras 89 a 92** a seguir.

Quadro 30 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício

Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício	Descrição: Apresenta as análises de Carga Térmica. Para estas análises são consideradas as Cargas Térmicas de dimensionamento do Sistema de ar-condicionado, ou seja, é o pico de carga térmica de um dia típico de projeto.
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráfico comparativo dos perfis de carga térmica do conjunto formado pelos cinco primeiros relacionados no Mapa de Valores, que formam um grupo no qual apenas um parâmetro é alterado. Este grupo pode ser alterado por meio da seleção de parâmetros, definida pelo usuário - avaliador; • Gráfico de composição de carga térmica de um modelo selecionado; • Mini gráficos do perfil de carga térmica de cada modelo; • Barra de Indicadores de Estatística; • Tabela de Valores com classificação monocromática com variação de gradiente; <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas.
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Tendo como foco a análise das composições de cargas térmicas dos diferentes modelos, de modo que se possa identificar a sensibilidade às variações paramétricas, seguir o procedimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explorar e analisar gráficos complementares: propriedades dos materiais – vidros e persianas; • Explorar todo o conjunto de dados por meio da análise da Barra de Indicadores de Estatística, antes de realizar a seleção de parâmetros; • Fixar 3 parâmetros, para realizar análise do impacto de um único parâmetro; • Para análise comparativa de um grupo de modelo, analisar o gráfico de perfis de carga térmica e realizar a leitura da Barra de Indicadores de Estatística; • Analisar o gráfico de composição de carga por modelo. Selecionar na segmentação de dados o modelo que se deseja analisar.
Painéis Informativos Associados	Não aplicável

Elaborado pela autora (2023)

Figura 89 - Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício



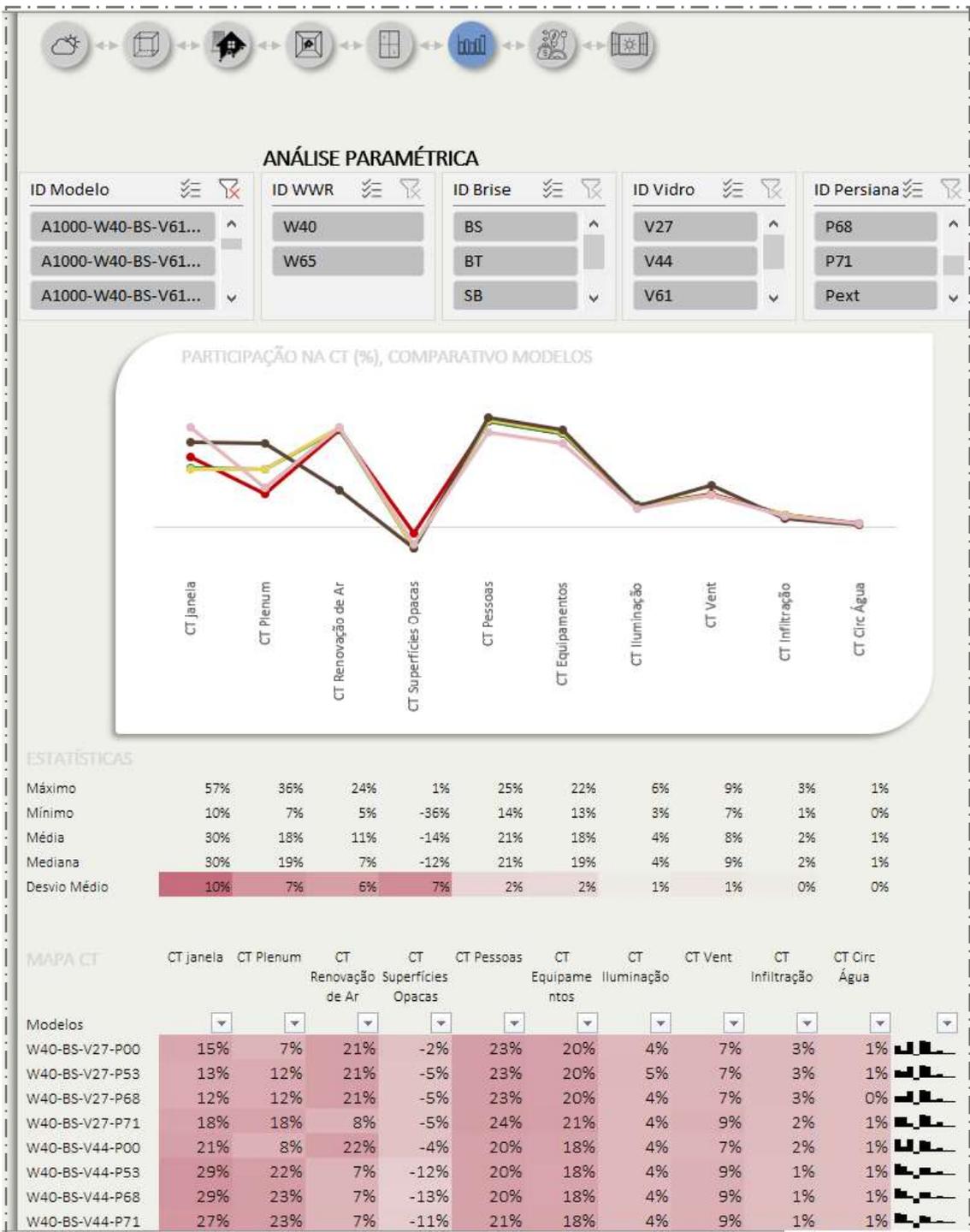
Elaborado pela autora (2023)

Figura 90 – Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 1 de 3



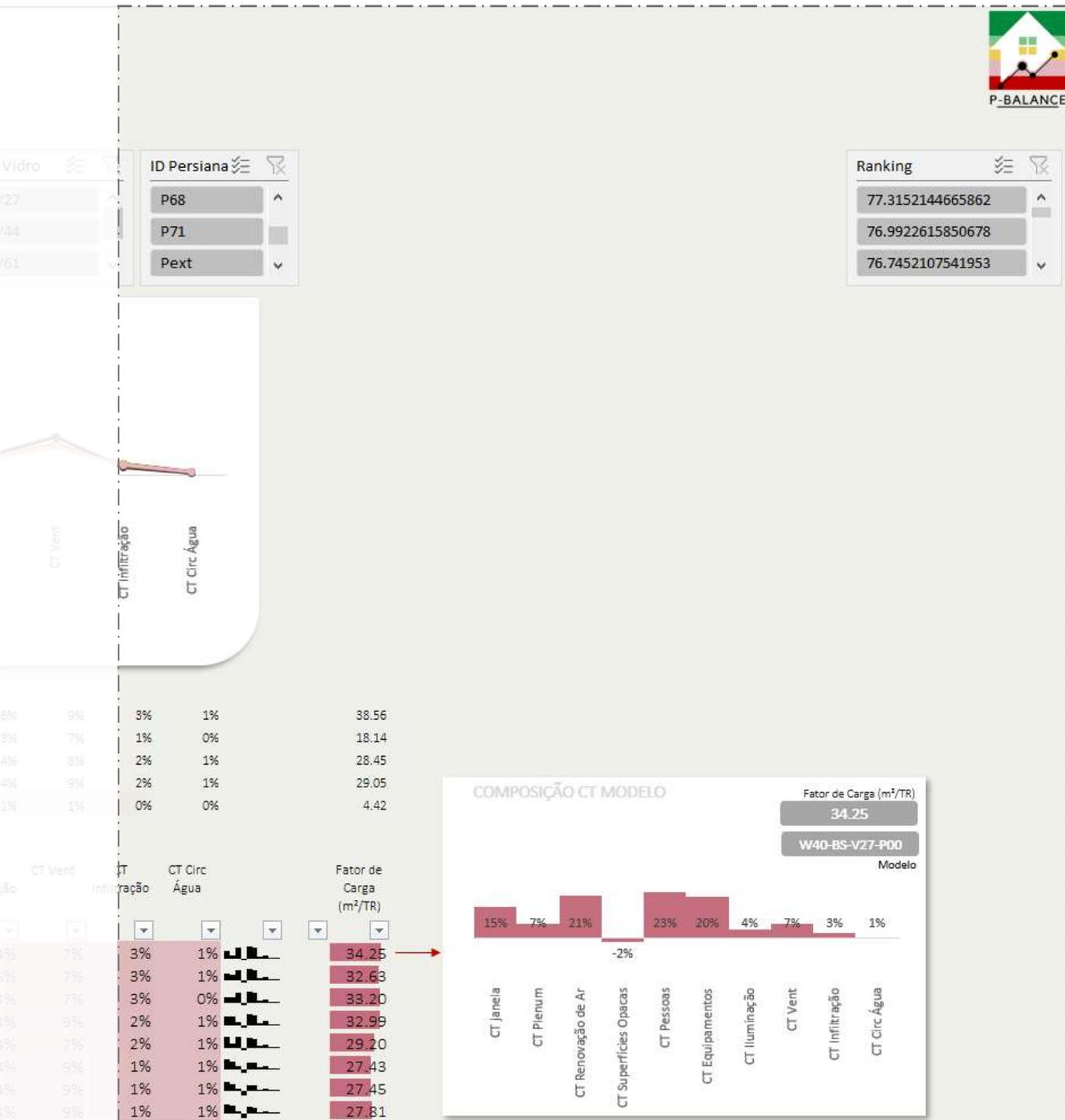
Elaborado pela autora (2023)

Figura 91 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 2 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 92 - Ampliação Painel de Análise Complementar: Cargas Térmicas – Edifício – Parte 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

4.9 Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia - Edifício

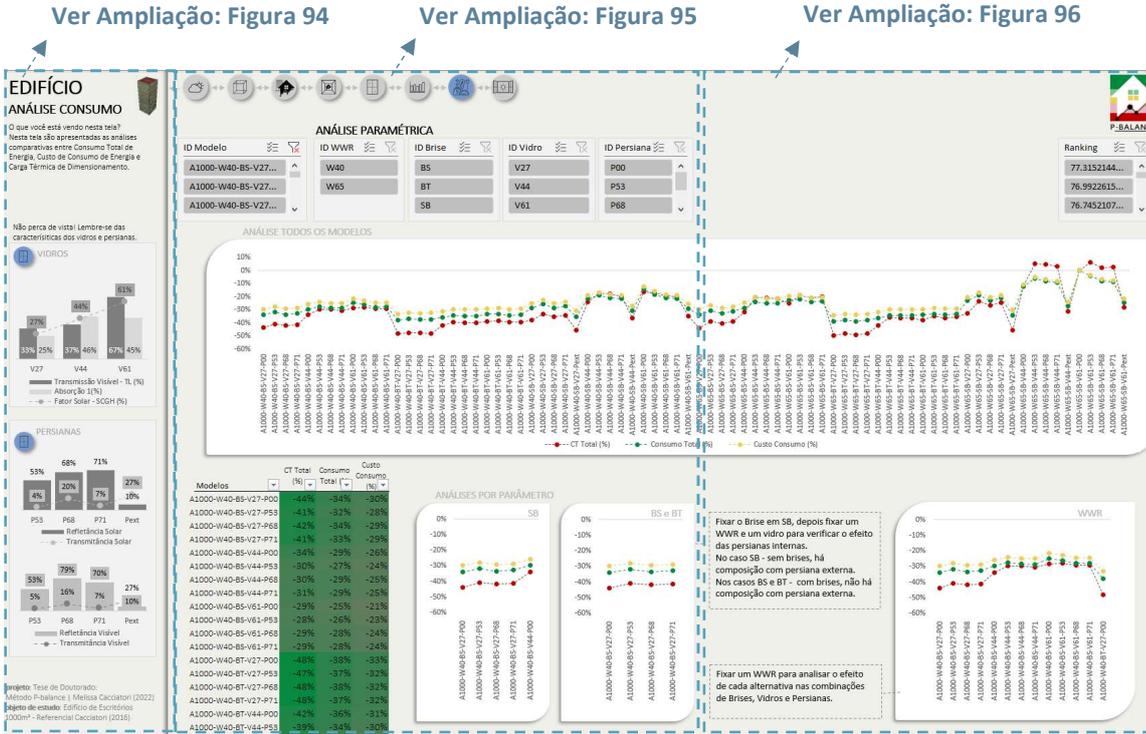
Este painel é apresentado no **Quadro 31** e nas **Figuras 93 a 96** a seguir.

Quadro 31 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício

Painel de Análise 4: Consumo de Energia – Edifício	Descrição: Apresenta as análises comparativas entre Consumo Total de Energia, Custo de Consumo de Energia e Carga Térmica de Dimensionamento.
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráfico comparativo das tendências e relações entre variáveis de consumo e carga térmica, entre modelos com variações paramétricas; • Gráficos de análises por parâmetros; • Tabela de Valores com classificação cromática com variação de gradiente: verde para valores mais baixos e marsala para valores mais altos. Neste caso, o valores mais baixos, indicam maiores reduções de consumo e carga térmica; <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas.
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Tendo como foco a análise das reduções de consumo e carga térmica promovida pelos diferentes modelos, de modo que se possa identificar a sensibilidade às variações paramétricas, seguir o procedimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explorar e analisar gráficos complementares: propriedades dos materiais – vidros e persianas; • Analisar o conjunto de dados por meio do gráfico central, identificando os padrões de comportamento entre as variáveis; • Realizar as análises paramétricas desejadas e fazer prints dos gráficos de análises por parâmetros para posterior comparação.
Painéis Informativos Associados	Não aplicável

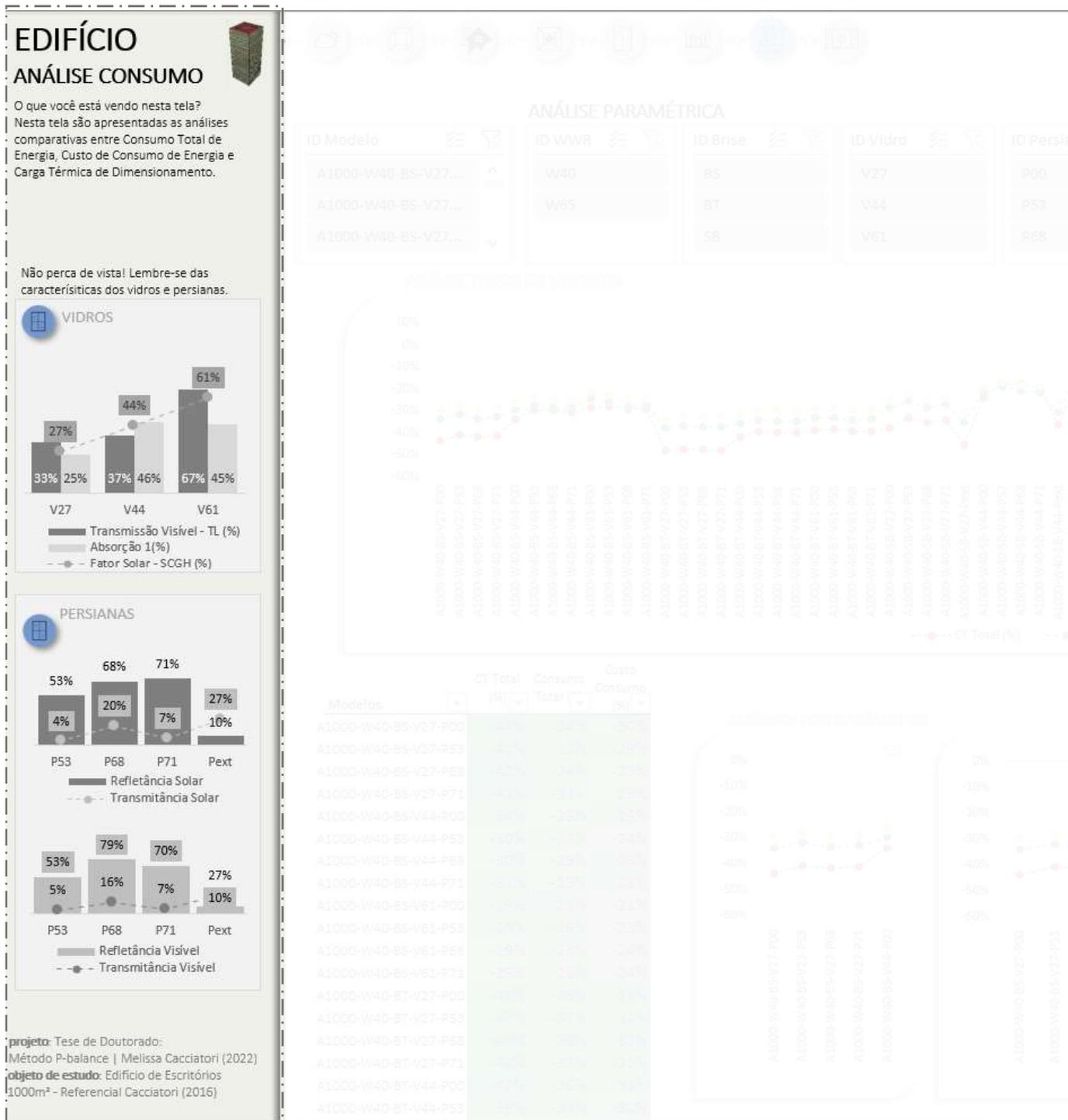
Elaborado pela autora (2023)

Figura 93 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício



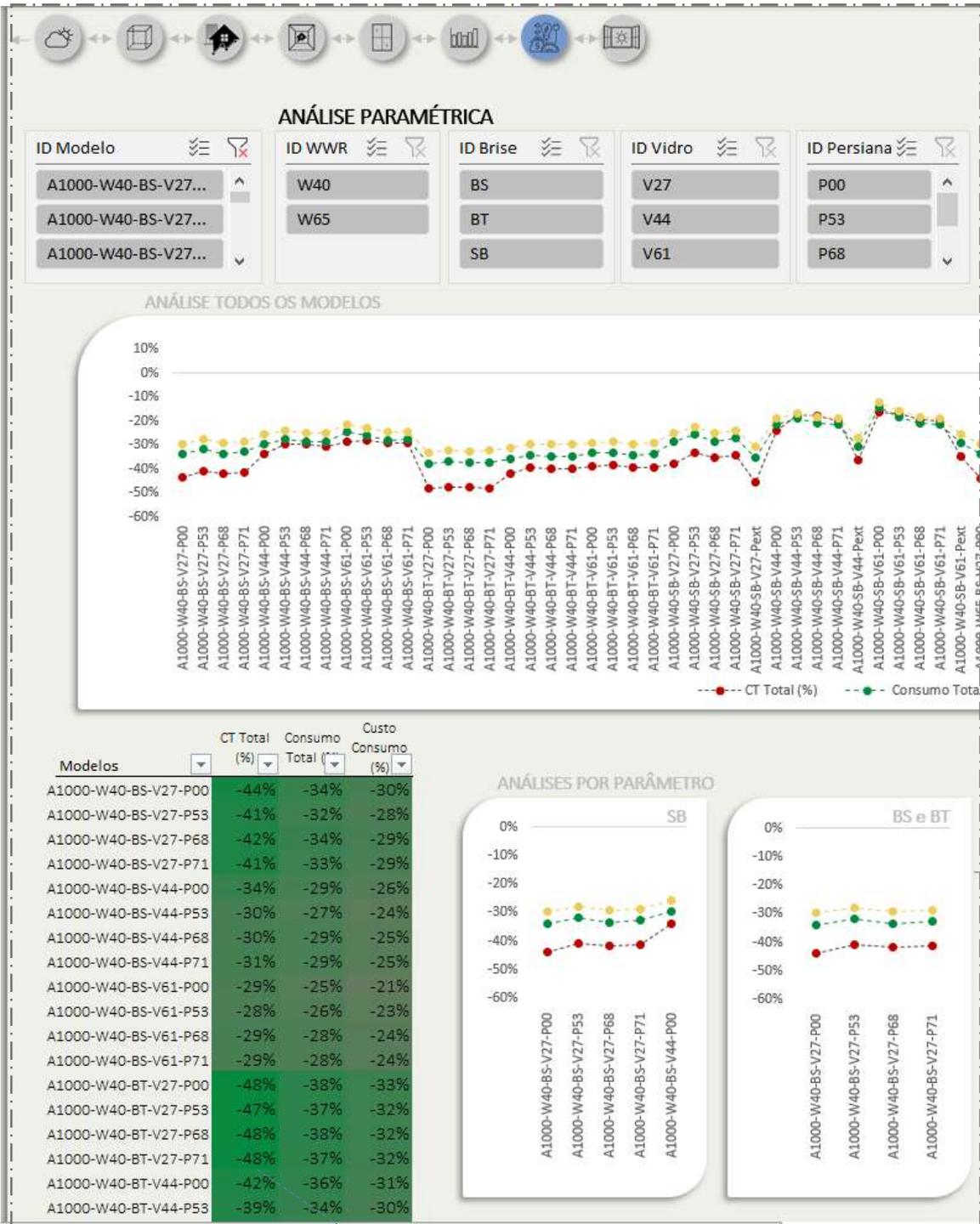
Elaborado pela autora (2023)

Figura 94 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 1 de 3



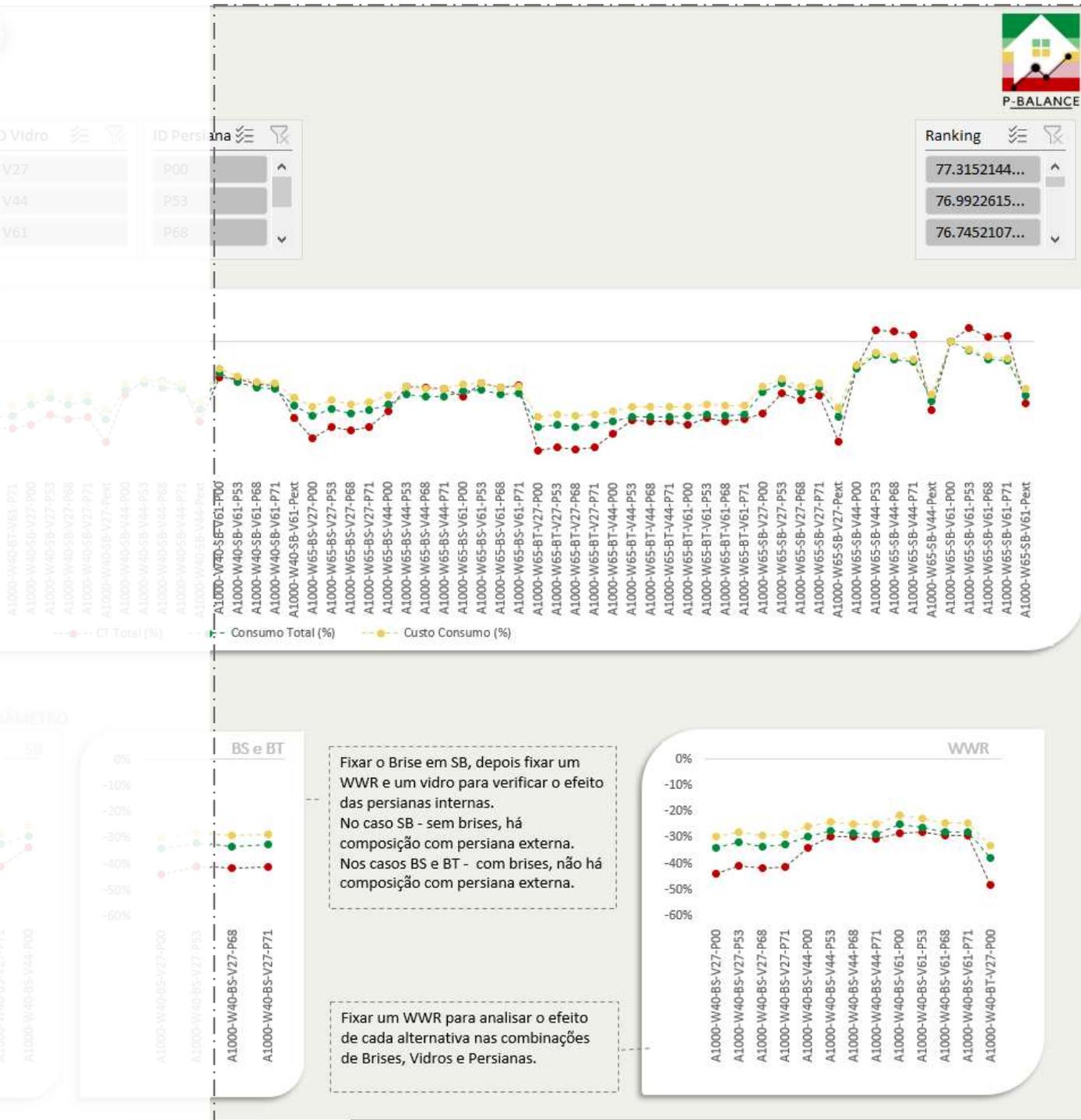
Elaborado pela autora (2023)

Figura 95 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 2 de 3



Elaborado pela autora (2023)

Figura 96 - Painel de Análise Complementar: Consumo de Energia – Edifício – Ampliação 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

4.10 Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício

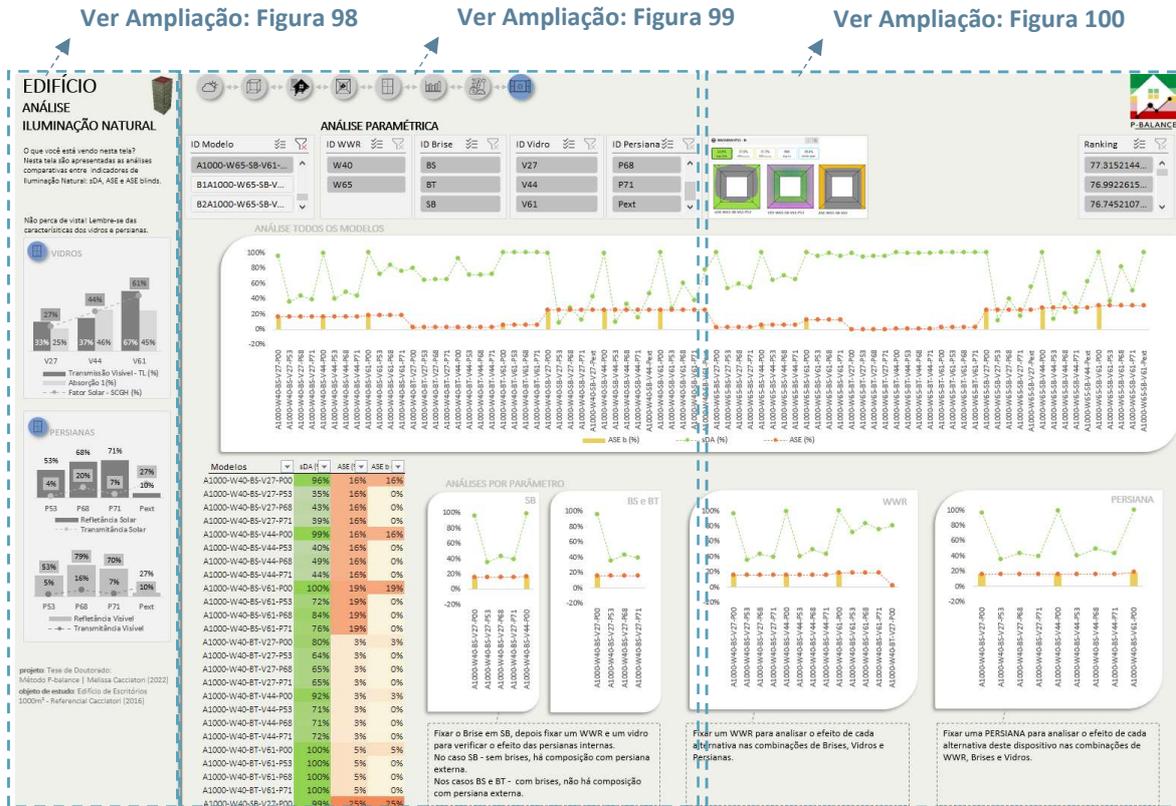
Este painel é apresentado no **Quadro 32** e nas **Figuras 97 a 100** a seguir.

Quadro 32 – Quadro Resumo: Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício

Painel de Análise 5: Iluminação Natural – Edifício	Descrição: Apresenta as análises comparativas entre indicadores de Iluminação Natural: sDA, ASE e ASE blinds
Recursos Disponíveis para análise	<p>Análise Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráfico comparativo das tendências e relações entre indicadores de iluminação natural, entre modelos com variações paramétricas; • Gráficos de análises por parâmetros; • Tabela de Valores com classificação cromática, com variação de gradiente: variação de intensidade de verde sDA , e de laranja ASE e ASE blinds. Cores mais intensas representam os maiores valores, o que é positivo para sDA e negativo para ASE; <p>Análises Complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de propriedades de Vidros e Persianas.
Técnicas de Visualização aplicadas	Ver seção 4.1.2
Método de Avaliação Proposto	<p>Tendo como foco a análise das relações entre indicadores de iluminação natural para os diferentes modelos, de modo que se possa identificar a sensibilidade às variações paramétricas, seguir o procedimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explorar e analisar gráficos complementares: propriedades dos materiais – vidros e persianas; • Analisar o conjunto de dados por meio do gráfico central, identificando os padrões de comportamento entre as variáveis; • Realizar as análises paramétricas desejadas e fazer prints dos gráficos de análises por parâmetros para posterior comparação.
Painéis Informativos Associados	Painel Informativo de Iluminação Natural (Figuras 101 a 103). Este painel disponibiliza os mapas de sDA, ASE e UDI resultantes das simulações.

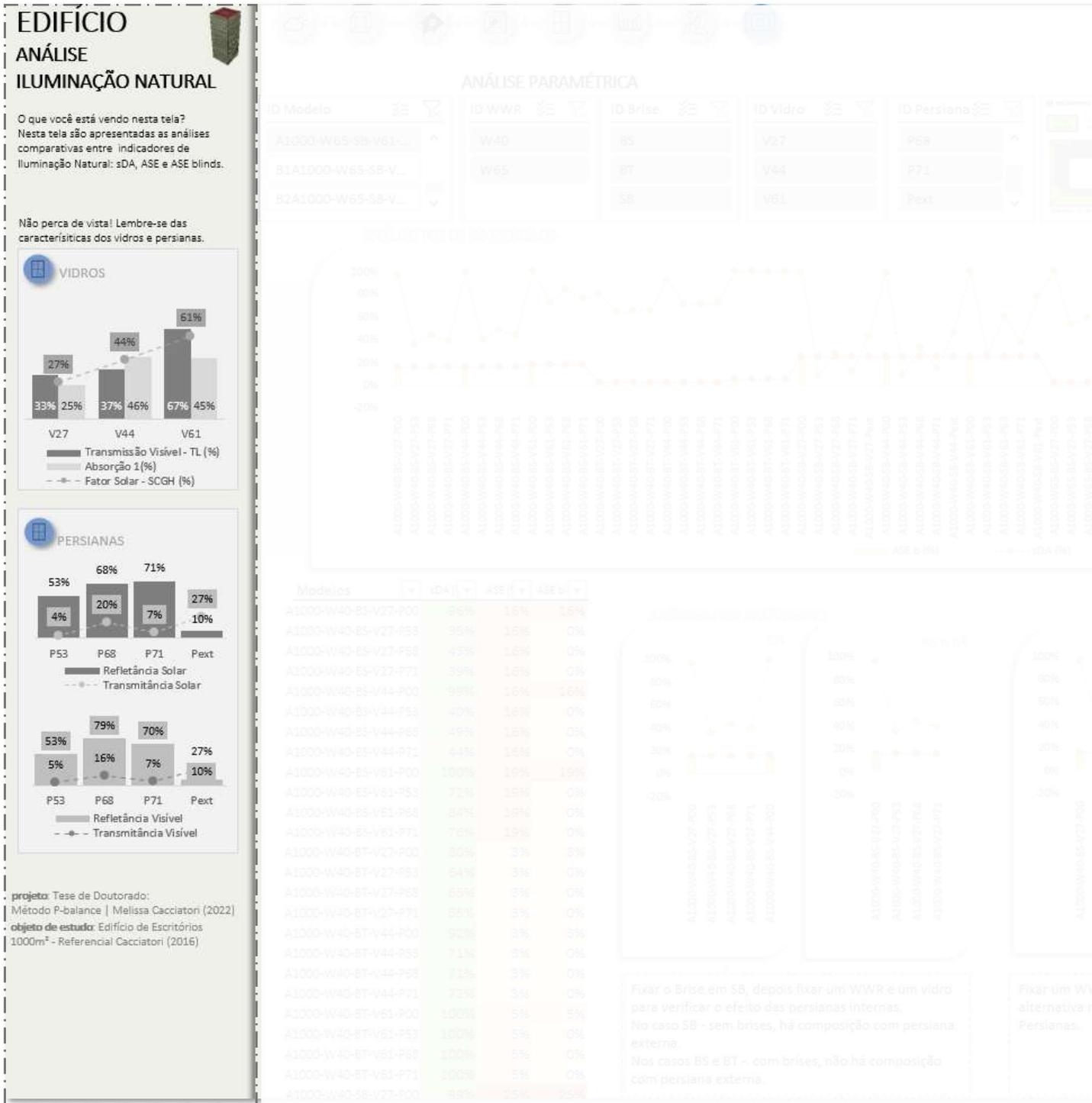
Elaborado pela autora (2023)

Figura 97 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício



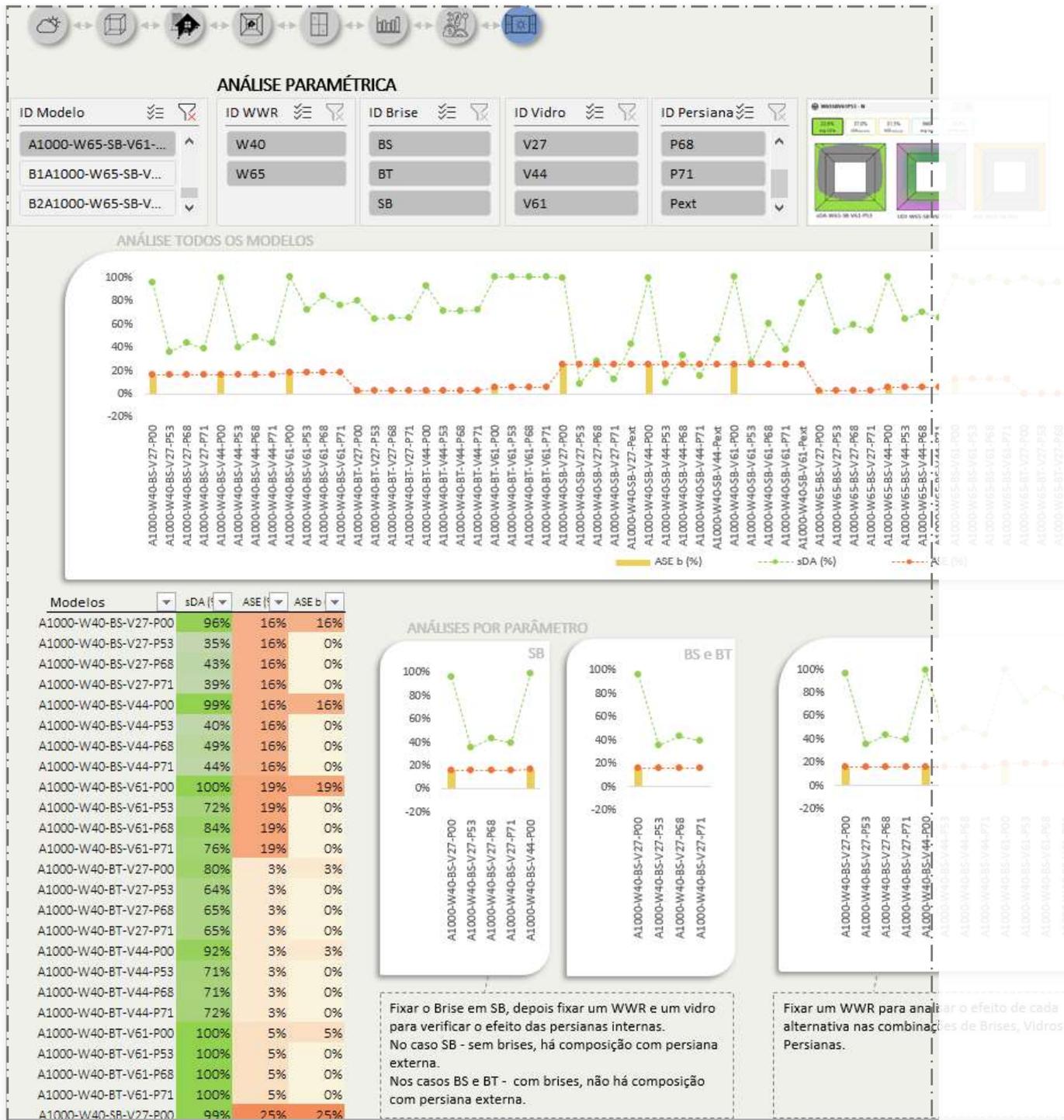
Elaborado pela autora (2023)

Figura 98 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 1 de 3



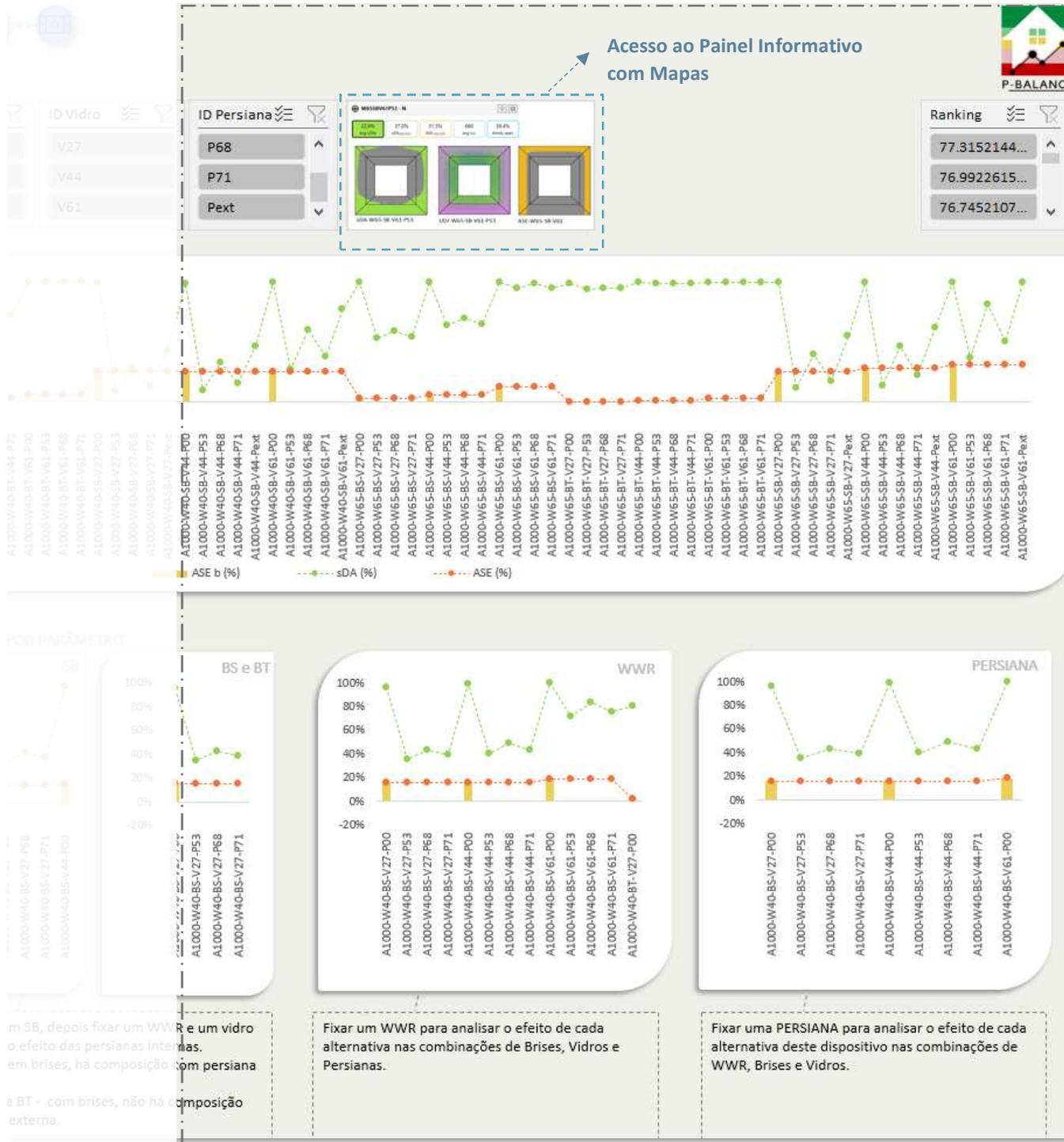
Elaborado pela autora (2023)

Figura 99 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 2 de 3

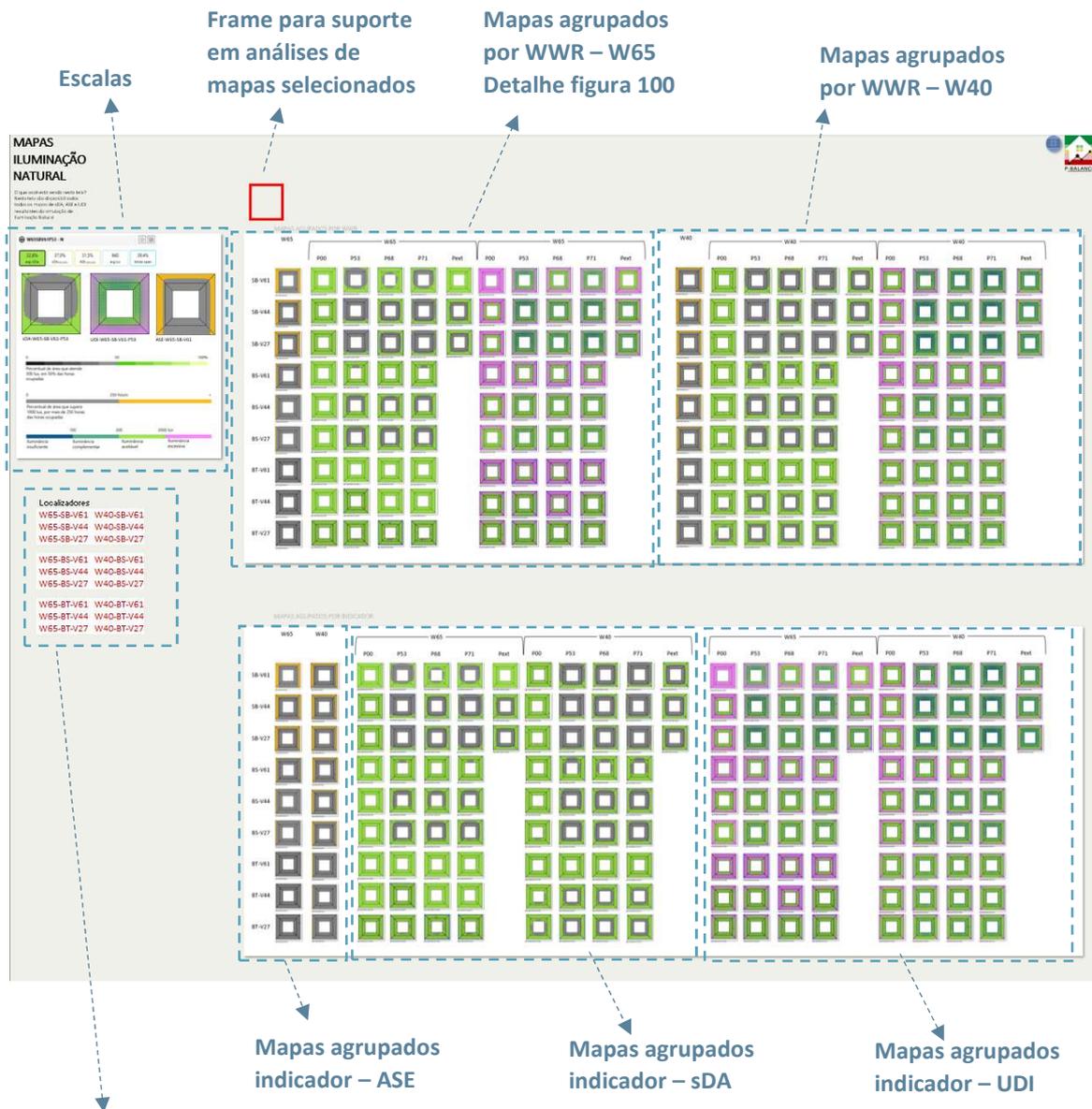


Elaborado pela autora (2023)

Figura 100 - Painel de Análise Complementar: Iluminação Natural – Edifício – Ampliação 3 de 3



Elaborado pela autora (2023)

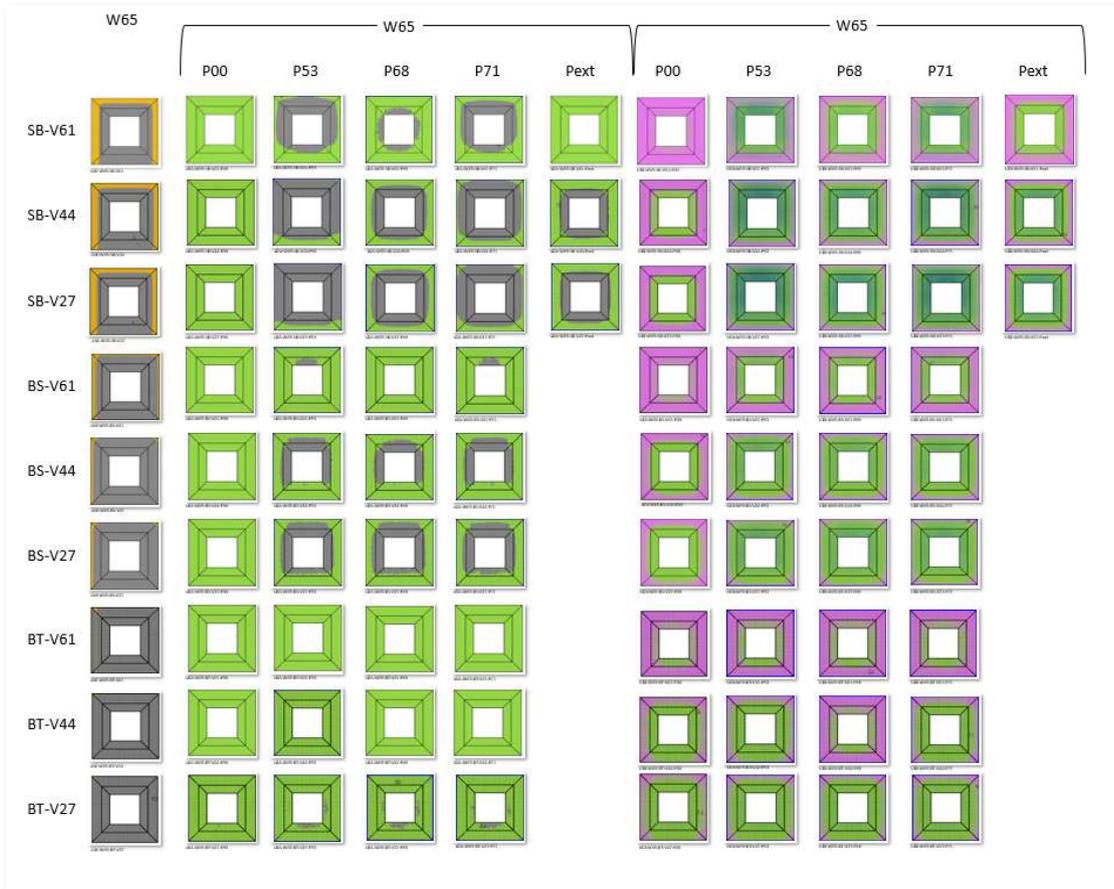
Figura 101 – Painel Informativo de Iluminação Natural: Mapas

**Caixa de apoio para localização de conjunto de mapas: Detalhe
Figura 101**

Elaborado pela autora (2023)

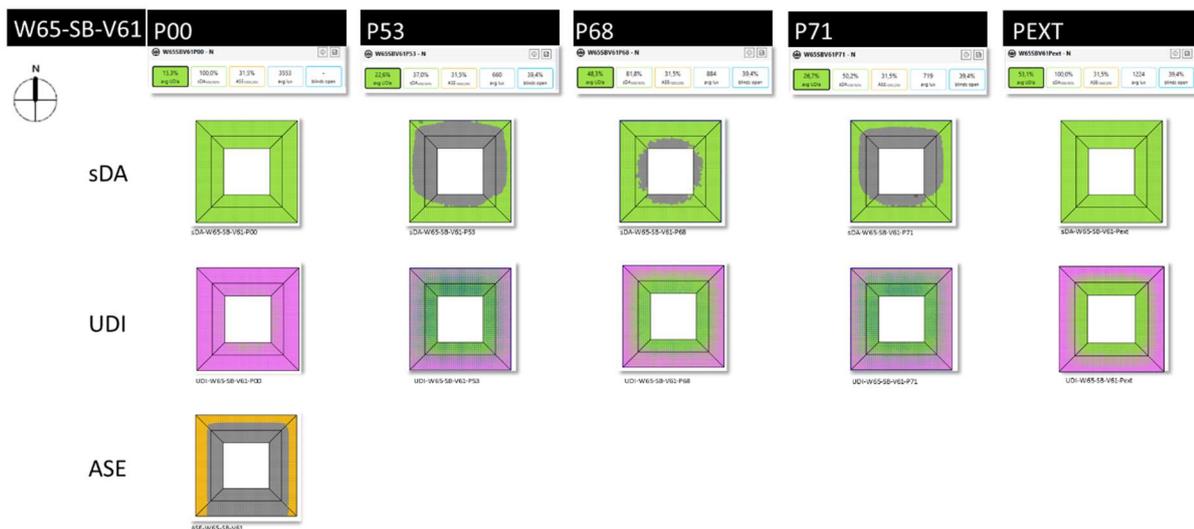
Neste painel são disponibilizados 3 diferentes agrupamentos dos mapas de iluminação natural: por WWR, por indicador e por modelo. O agrupamento de mapas neste painel evidencia a dificuldade de se selecionar um modelo por meio da avaliação de mapas, em um contexto de avaliação integrada de modelos paramétricos. A função dos mapas é portanto apoiar o processo de avaliação e seleção de alternativas, permitindo a exploração e análises pontuais e limitadas de grupos de modelos reduzidos.

Figura 102 – Painel Informativo de Iluminação Natural: Detalhe Bloco de Mapas agrupados por WWR



Elaborado pela autora (2023)

Figura 103 - Painel Informativo de Iluminação Natural: Detalhe Bloco de Mapas agrupados por Modelo



Elaborado pela autora (2023)

5 MÉTODO DE AVALIAÇÃO: APLICAÇÃO E AFERIÇÃO DA FERRAMENTA

A Metodologia de Avaliação Integrada embarcada na Ferramenta P-Balance é apresentada pelo fluxograma de processos da **Figura 104**. A aplicação deste método é demonstrada neste capítulo para as avaliações do edifício e por ambiente.

Figura 104 – Metodologia de Avaliação Integrada P-Balance: Fluxograma de Processos

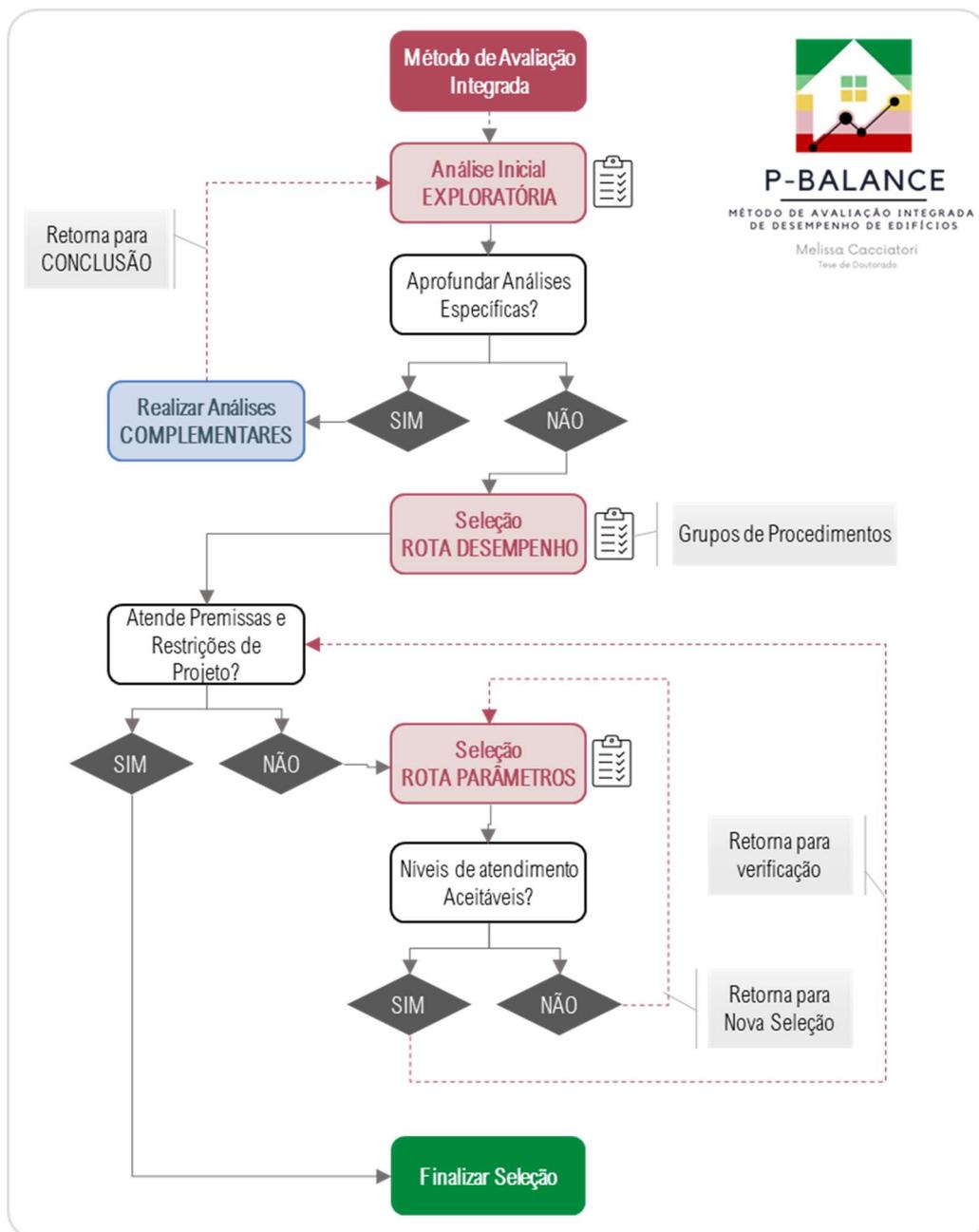
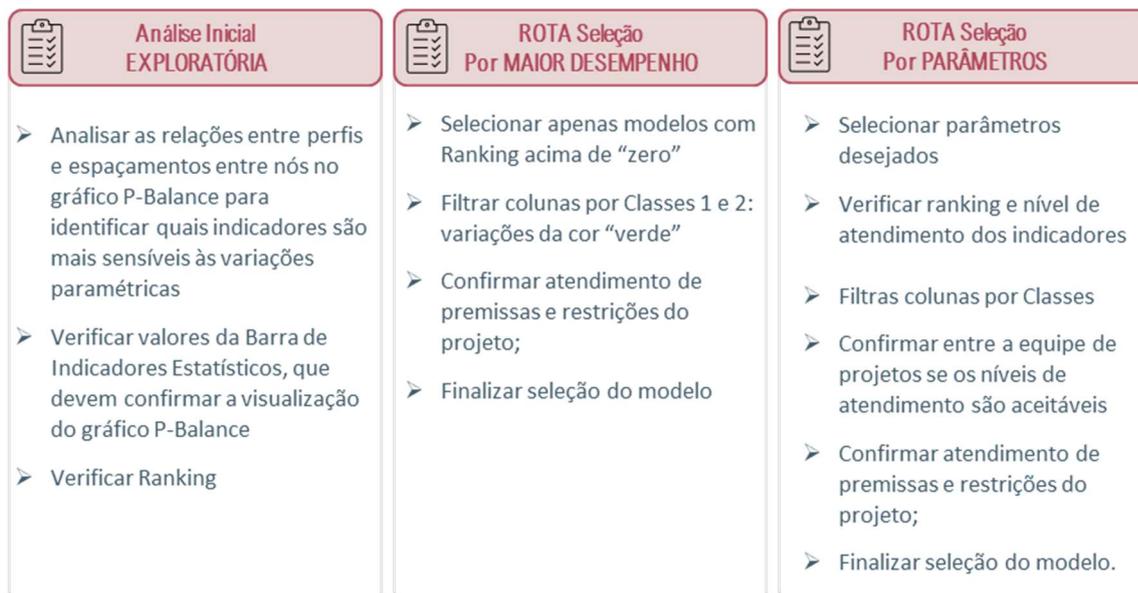


Figura 104 - Metodologia de Avaliação Integrada P-Balance: Fluxograma de Processos (Continuação: Grupos de Procedimentos)



Elaborado pela autora (2023)

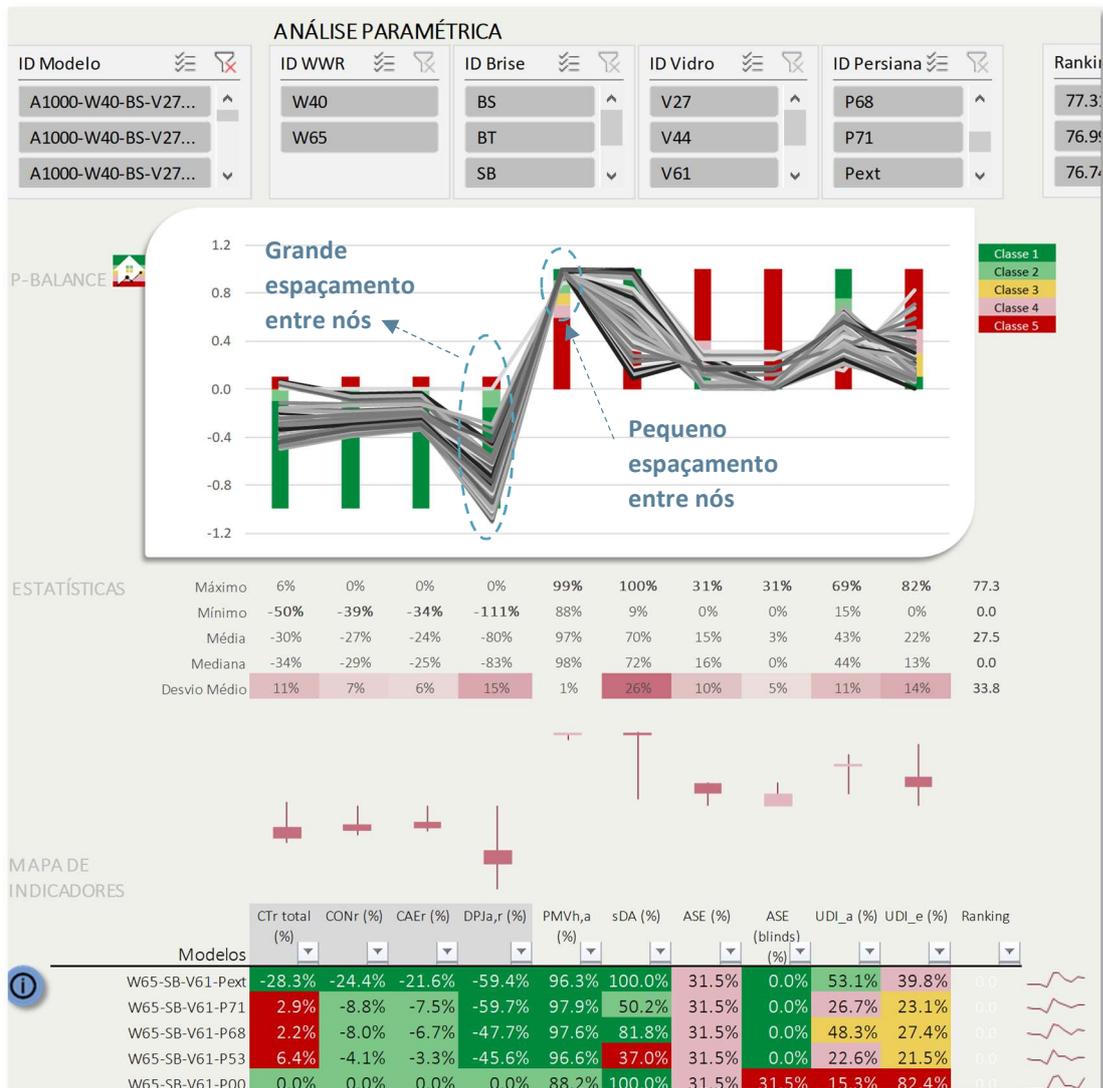
5.1 Avaliação Integrada do Edifício

O método de avaliação segue demonstrado nas seções 5.1.1 à 5.1.3.

5.1.1 Análise Inicial Exploratória

A análise Inicial Exploratória deve ser realizada para reconhecimento do conjunto de dados. Adicionalmente, com a realização deste conjunto de procedimentos, o avaliador poderá identificar inconsistências nos resultados ou padrões de comportamento de desempenho inesperados, que demandem revisões ou análises complementares para aprofundamento.

Figura 106 - Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance



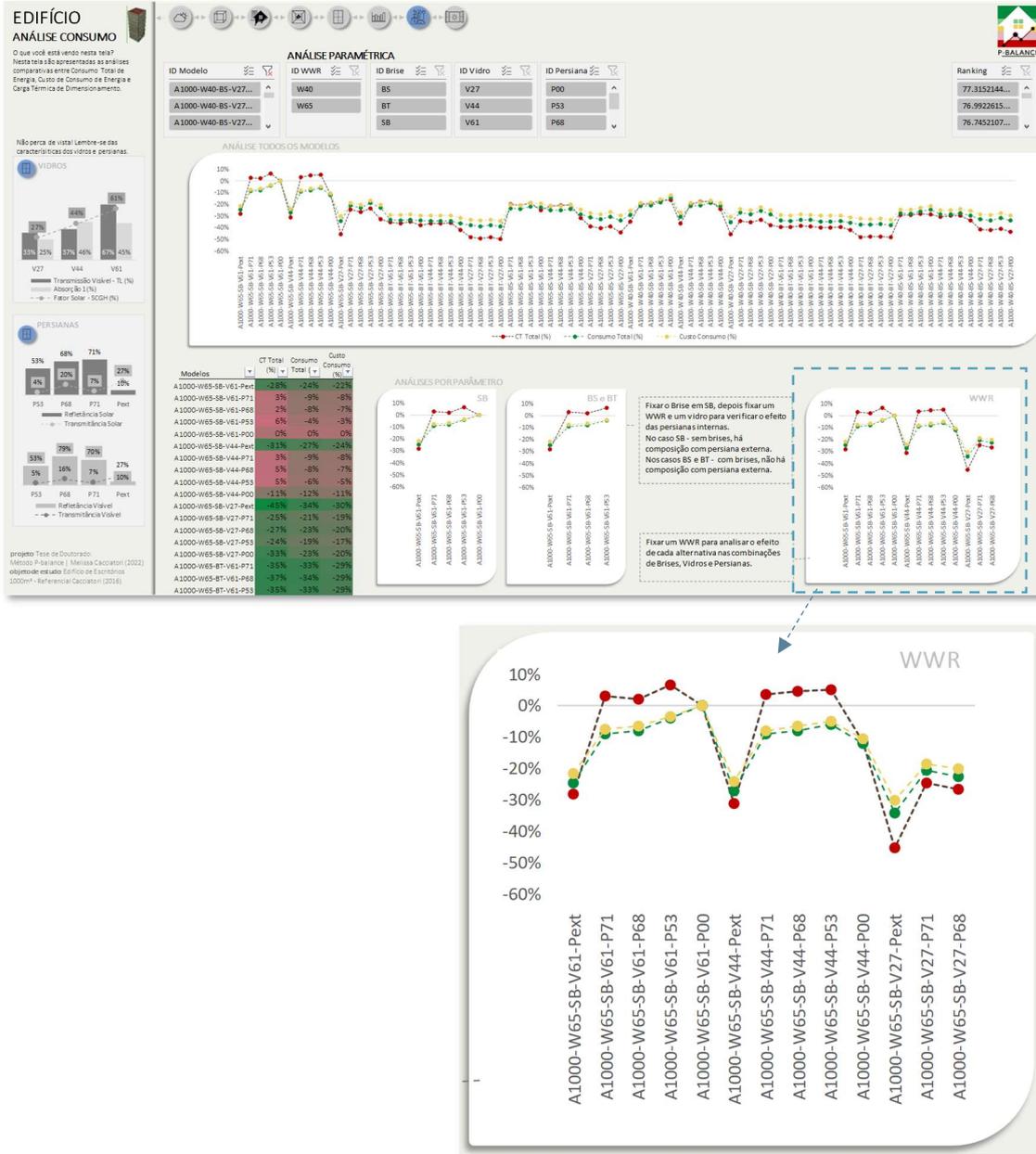
Elaborado pela autora (2023)

Os resultados para os indicadores de consumo e cargas térmicas estão em sua grande maioria dentro das Classes 1 e 2, exceto alguns modelos que apresentam aumento de carga térmica. Para compreender este comportamento, uma análise complementar é demandada. Para esta análise complementar recorre-se aos Painéis de Análise de Consumo (**Figura 107**), Análise de Vidros e Persianas (**Figura 108**), e Análise de Arquitetura (**Figura 73**), o que permite concluir:

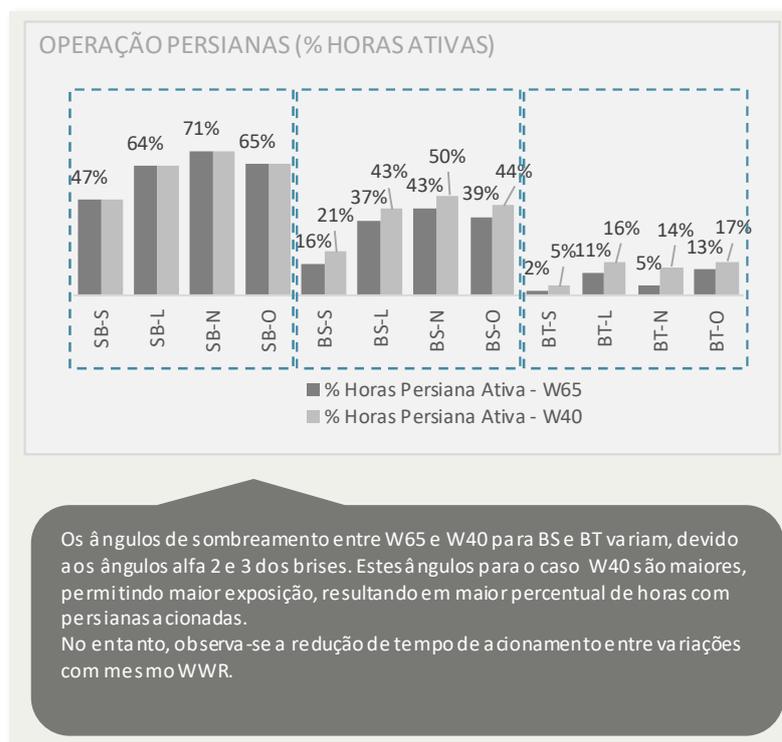
- O cálculo da carga térmica é realizado para o horário de pico do dia típico de projeto. Este horário não se mantém fixo entre modelos, pois é selecionado sempre o horário mais crítico;

- b) Apenas os modelos com o maior WWR (W65), sem brises (SB), vidros V61 e V44 que possuem maiores fatores solares, e com persianas internas, apresentam aumento de carga térmica. Mesmo para o grupo W65-SB, sem persiana ou com persiana externa, ou com vidro V27 (insulado) é observada redução de carga térmica, seguindo o padrão observado para os demais modelos do estudo;
- c) O percentual de horas ativas de persianas, são mais elevados para os modelos com WWR 65%. Ao passo que as persianas reduzem a temperatura média radiante no interior do edifício, pois aumentam a resistência do conjunto vidro persiana, esta resistência também reduz a perda de calor para o exterior, resultando tanto no deslocamento do horário de pico, quanto no aumento da referida carga térmica;
- d) A conclusão da análise complementar dá ao avaliador a possibilidade de flexibilizar a consideração do aumento de carga térmica, na medida em que o consumo de energia anual para estes mesmos modelos apresenta redução. No entanto, é uma análise que traz um conhecimento importante sobre o potencial impacto de persianas, em processos de dimensionamento de sistemas de ar-condicionado, para determinadas configurações arquitetônicas;
- e) Por fim, justifica-se a manutenção de painéis de análises complementares. A importância destas análises supera o simples atendimento às demandas particulares de um projeto, potencializando a geração de ativos em conhecimento para avaliadores e equipes de projeto, que podem ser aplicadas a outras disciplinas ou projetos. Destaca-se ainda que é fundamental que o avaliador e usuários de ferramentas de simulação compreendam como os indicadores são calculados e as relações entre os diferentes processos de geração de cada indicador, para a realização de análises seguras.

Figura 107 - Análise Inicial Exploratória – Análise Complementar de Consumo do Edifício



Elaborado pela autora (2023)

Figura 108 – Gráfico Complementar - Painel de Análise de Vidros e Persianas

Elaborado pela autora (2023)

5.1.2 Rota de Seleção: Maior Desempenho

Dando continuidade ao processo de avaliação integrada, selecionam-se apenas os modelos com notas no Ranking superiores a “zero” (**Figura 109**). Observa-se que a variação de notas do Ranking não é significativa (Desvio Padrão de 3%), enquanto se destacam as variações de sDA, UDI_a e UDI_e. Os demais indicadores, possuem menor variação e já se enquadram todos em Classe 1 de atendimento, o que é um direcionamento do próprio cálculo do Indicador Ranking. O indicador sDA, apresenta a maior variação mas também possui todos os resultados enquadrados nas Classes 1 e 2. A seleção dos modelos de maior desempenho prossegue com aplicação do filtro por Classes 1 e 2, selecionando apenas a cor verde, nas colunas UDI_a e UDI_e (**Figura 110**).

A seleção apresenta então os 9 modelos que possuem o melhor balanço de desempenho entre os indicadores avaliados, para os critérios definidos (**Figura 110**). Para a finalização da Rota de Seleção por maior desempenho, é necessário confirmar se os resultados atendem premissas e restrições do projeto. Em situações práticas de consultoria é usual a restrição à

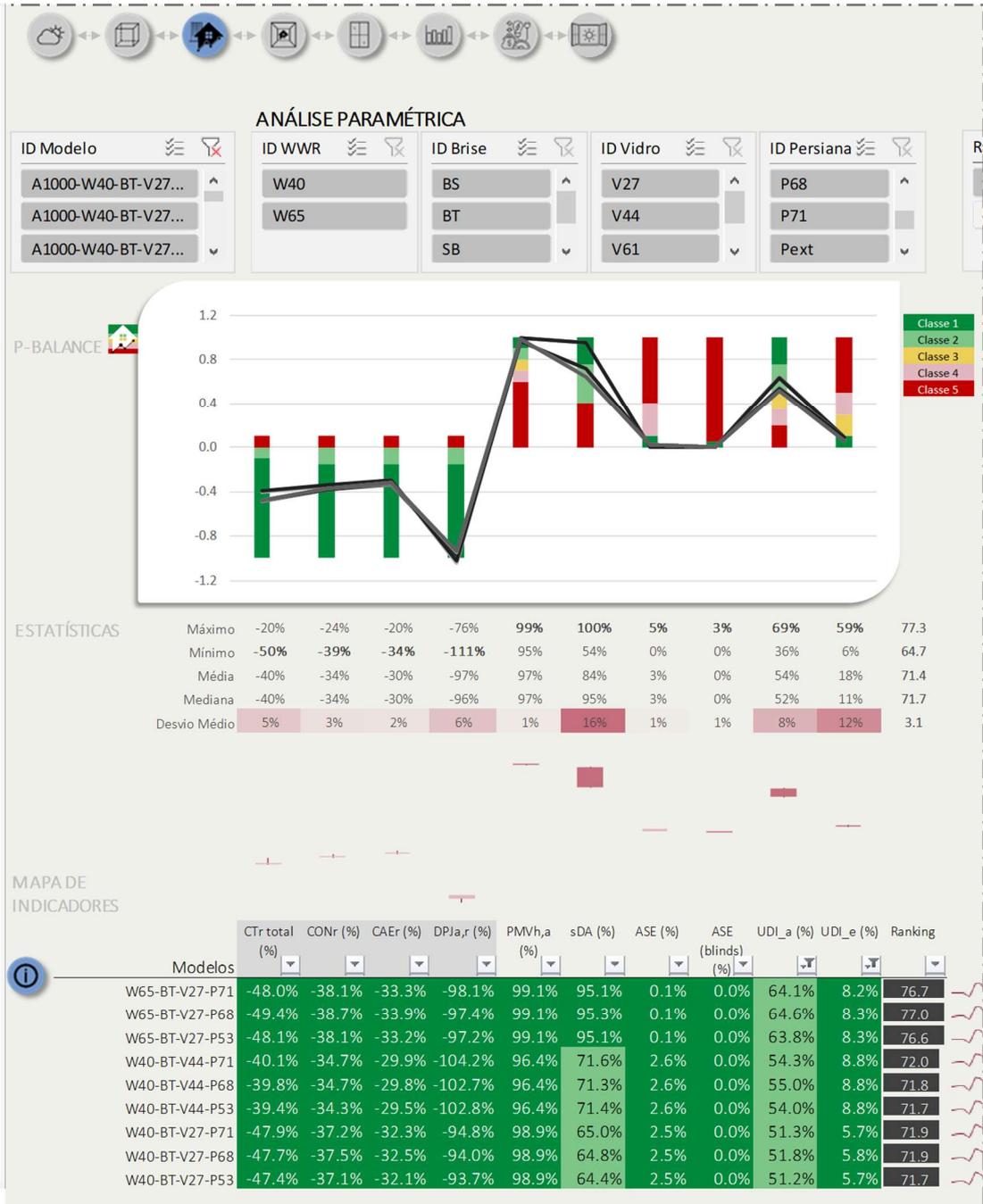
alternativas com elevado custo inicial de investimento, tal como fachadas totalmente sombreadas por brises e vidros insulados. Todas as alternativas de maior desempenho são W65, Brise Total (BT) e vidros V44 ou V27: estas configurações são as que apresentam os maiores custos iniciais. Para prosseguir com a demonstração de aplicação do método, será simulada uma condição de premissa de projeto, na qual as alternativas de maior desempenho são rejeitadas pela equipe de projeto devido ao elevado custo inicial.

Figura 109 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Ranking maior que “zero”



Elaborado pela autora (2023)

Figura 110 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 colunas UDI_a e UDI_e



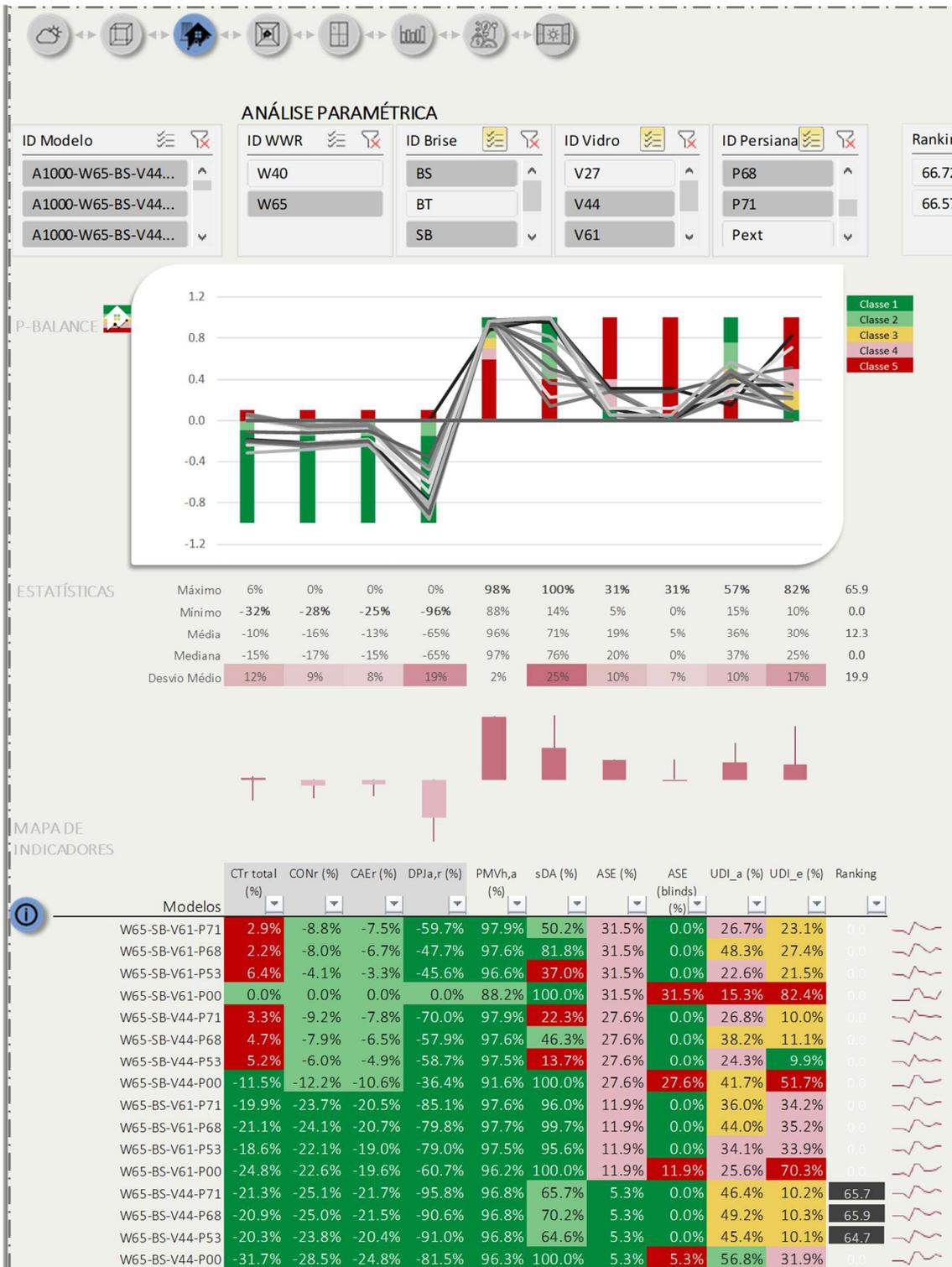
Elaborado pela autora (2023)

5.1.3 Rota de Seleção: Por Parâmetro

A demonstração da Rota de Seleção por parâmetros considera as seguintes premissas de projeto:

1. O vidro insulado V27 não será considerado;
2. Fachada totalmente sombreada por brises (BT) não será considerada;
3. Apenas WWR de 65% será considerado.

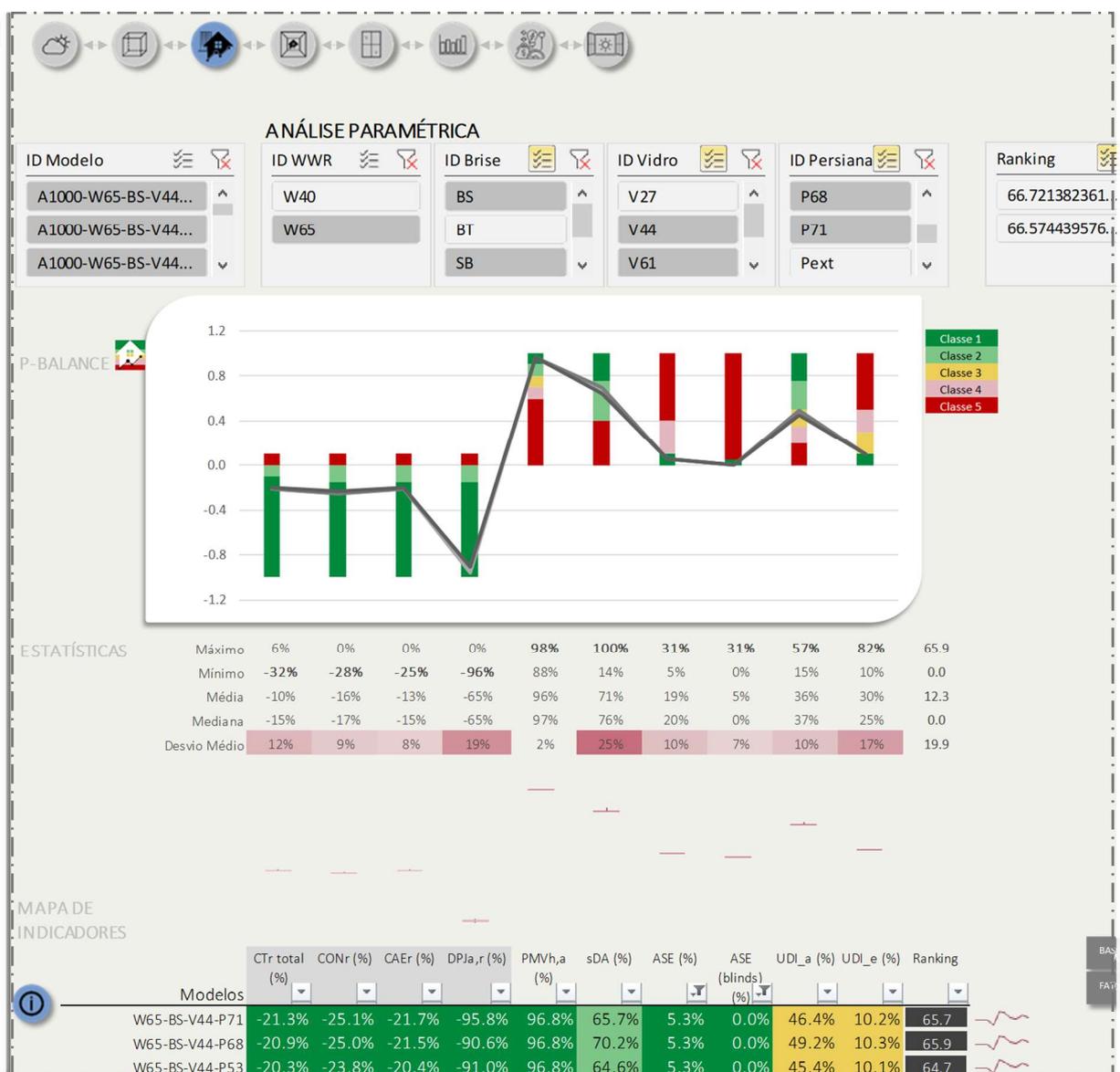
Figura 111 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Aplicação das Premissas de Projeto



Elaborado pela autora (2023)

A seleção (Figura 111) retornou os modelos com Ranking igual a “zero”, incluindo os modelos com aumento de carga térmica total analisados inicialmente. Pela análise do Mapa de Indicadores, observa-se que os modelos com menor sDA, que seria o indicador a guiar a análise pelo fato de apresentar a maior variação de resultados, também apresentam ASE em níveis não aceitáveis, tal como UDI_a e UDI_e. O processo de seleção das alternativas é então direcionado pelo filtro de indicadores na Classe 1 para ASE e ASE blinds (Figura 112). Obtém-se como resultado 3 modelos W65-BS-V44, com 3 tipos de persianas.

Figura 112 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Ampliação da Visualização P-Balance – Aplicação das Premissas de Projeto + Filtro Classe 1 colunas ASE e ASE blinds



Elaborado pela autora (2023)

As Figuras 113 e 114 apresentam os resultados da seleção pelas duas rotas contempladas no método. Destaca-se que no processo de seleção final do modelo, a equipe de projeto estará totalmente informada dos níveis de atendimento aceitos. Esta condição é possibilitada pela forma de visualização dos resultados disponibilizada pela ferramenta P-Balance, que atribui transparência e compartilhamento de informações a toda a equipe de projeto, de forma inequívoca. Por exemplo, ao selecionar um dos modelos W65-BS-V44 (Figura 114) a equipe tem ciência de que os indicadores de UDI_a e UDI_e são Classe 3.

Figura 113 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada do Edifício – Modelos com melhor balanço entre indicadores

MAPA DE INDICADORES

Modelos	CTr total (%)	CONr (%)	CAEr (%)	DPJa,r (%)	PMVh,a (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking
W65-BT-V27-P71	-48.0%	-38.1%	-33.3%	-98.1%	99.1%	95.1%	0.1%	0.0%	64.1%	8.2%	76.7
W65-BT-V27-P68	-49.4%	-38.7%	-33.9%	-97.4%	99.1%	95.3%	0.1%	0.0%	64.6%	8.3%	77.0
W65-BT-V27-P53	-48.1%	-38.1%	-33.2%	-97.2%	99.1%	95.1%	0.1%	0.0%	63.8%	8.3%	76.6
W40-BT-V44-P71	-40.1%	-34.7%	-29.9%	-104.2%	96.4%	71.6%	2.6%	0.0%	54.3%	8.8%	72.0
W40-BT-V44-P68	-39.8%	-34.7%	-29.8%	-102.7%	96.4%	71.3%	2.6%	0.0%	55.0%	8.8%	71.8
W40-BT-V44-P53	-39.4%	-34.3%	-29.5%	-102.8%	96.4%	71.4%	2.6%	0.0%	54.0%	8.8%	71.7
W40-BT-V27-P71	-47.9%	-37.2%	-32.3%	-94.8%	98.9%	65.0%	2.5%	0.0%	51.3%	5.7%	71.9
W40-BT-V27-P68	-47.7%	-37.5%	-32.5%	-94.0%	98.9%	64.8%	2.5%	0.0%	51.8%	5.8%	71.9
W40-BT-V27-P53	-47.4%	-37.1%	-32.1%	-93.7%	98.9%	64.4%	2.5%	0.0%	51.2%	5.7%	71.7

Elaborado pela autora (2023)

Figura 114 – Rota de Seleção por parâmetros - Avaliação Integrada do Edifício – Modelos com melhor balanço entre indicadores

MAPA DE INDICADORES

Modelos	CTr total (%)	CONr (%)	CAEr (%)	DPJa,r (%)	PMVh,a (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking
W65-BS-V44-P71	-21.3%	-25.1%	-21.7%	-95.8%	96.8%	65.7%	5.3%	0.0%	46.4%	10.2%	65.7
W65-BS-V44-P68	-20.9%	-25.0%	-21.5%	-90.6%	96.8%	70.2%	5.3%	0.0%	49.2%	10.3%	65.9
W65-BS-V44-P53	-20.3%	-23.8%	-20.4%	-91.0%	96.8%	64.6%	5.3%	0.0%	45.4%	10.1%	64.7

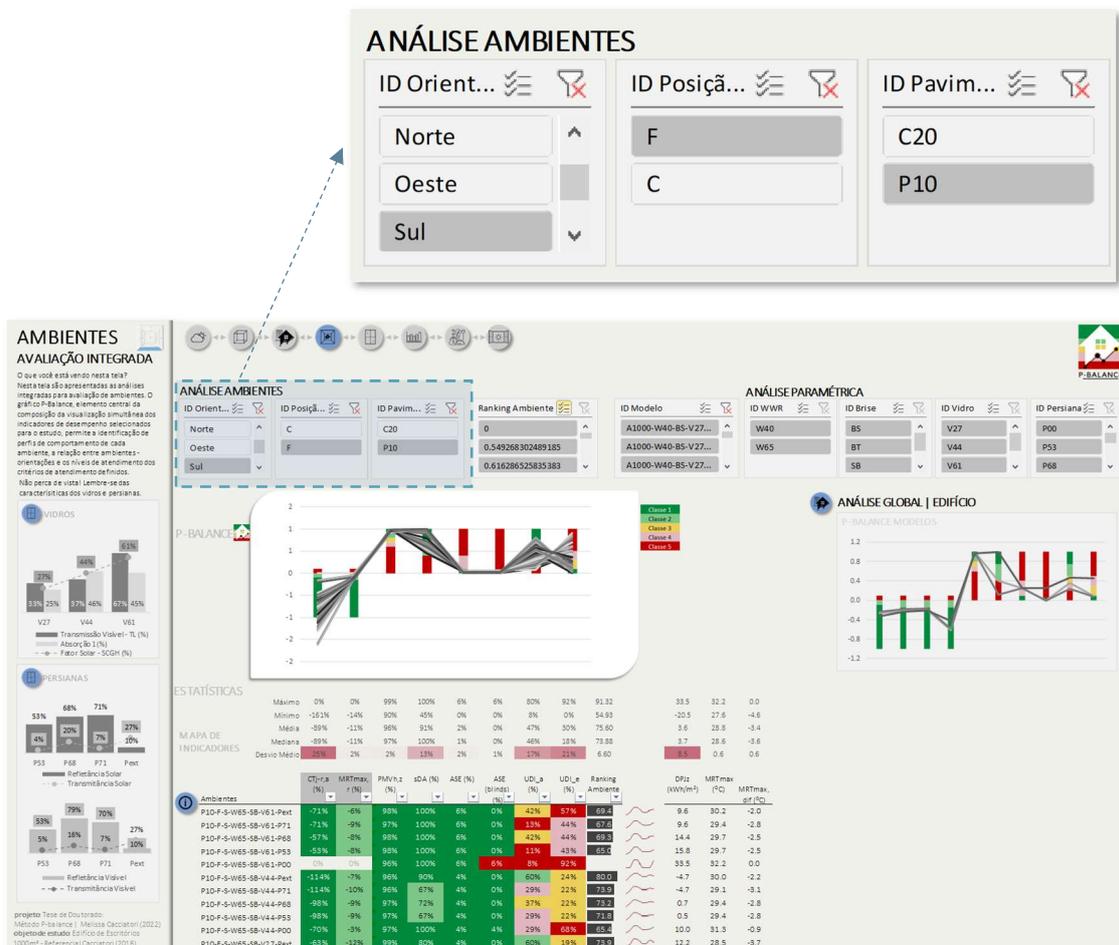
Elaborado pela autora (2023)

5.2 Avaliação Integrada por Ambiente

5.2.1 Análise Inicial Exploratória

O processo de seleção por ambiente, recomendado para avaliação de fachadas, deve seguir os mesmos passos do método de avaliação integrada demonstrado para seleção do modelo aplicado ao edifício, incluindo-se a seleção inicial da Orientação, Posição Fachada (F) e Pavimento Tipo (P10) (**Figura 115**). O método deve ser aplicado para cada orientação do edifício. No caso do edifício em análise, cada orientação está relacionada a uma zona térmica, que configura um ambiente no âmbito do processo de avaliação.

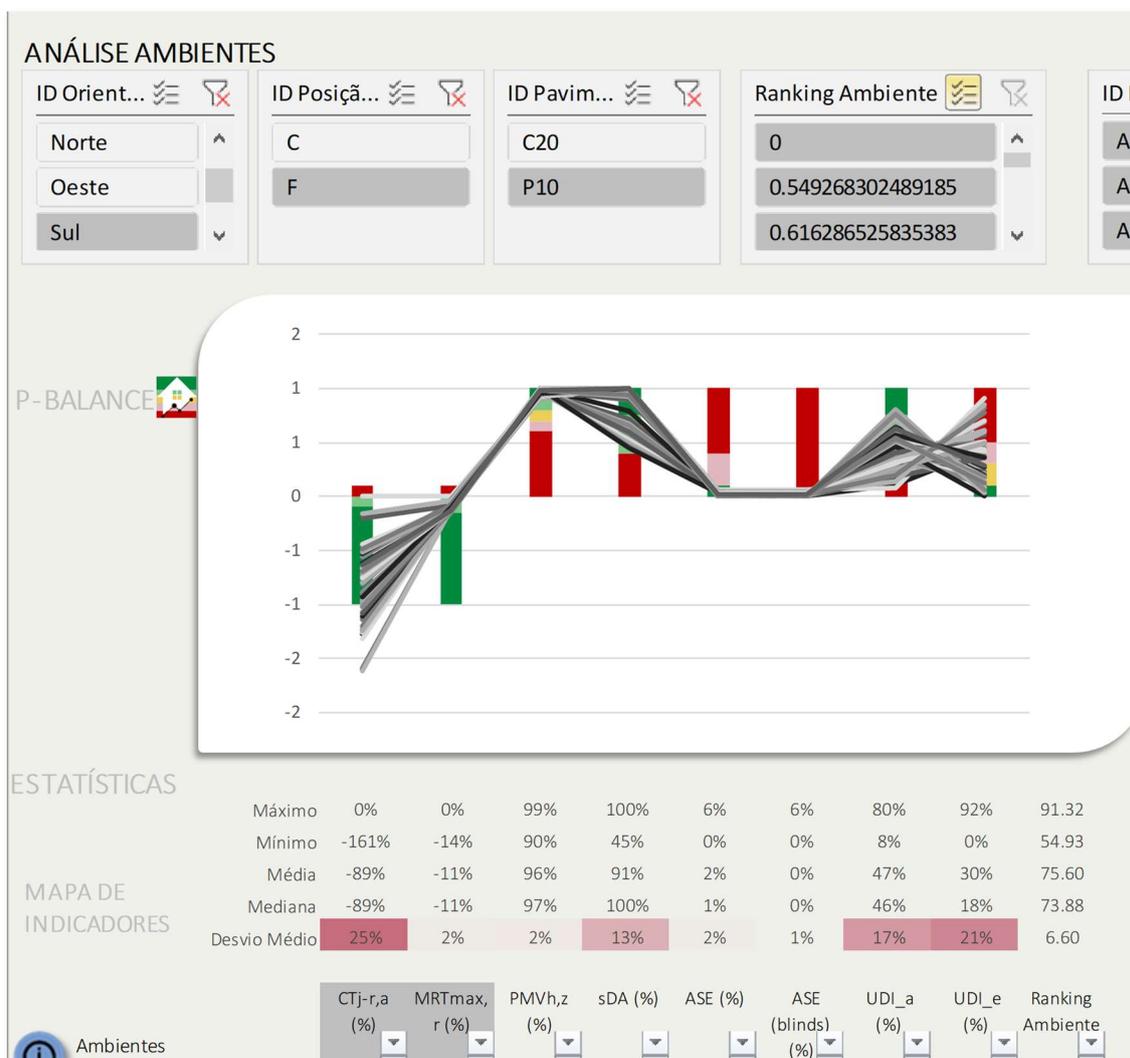
Figura 115 – Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada por Ambiente – Seleção Inicial de Orientação, Posição e Pavimento



Elaborado pela autora (2023)

A análise inicial exploratória para o desempenho da fachada Sul (**Figura 116**), permite identificar que o indicador CTj-r,a é o que possui os maiores espaçamento entre nós e desvio padrão (25%), seguido por UDI_e (21%), UDI_a (17%) e sDA (13%). Nos casos de CTj-r,a e sDA, as variações de resultados ocorrem na Classe 1, enquanto os indicadores de UDI variam entre as Classes 1 e 5. Assim, estes últimos tornam-se os indicadores eleitos para prosseguir com a rota de seleção por desempenho, uma vez que estas condições de atendimento são mantidas ao se excluírem alternativas com Ranking igual a “zero” (**Figura 117**).

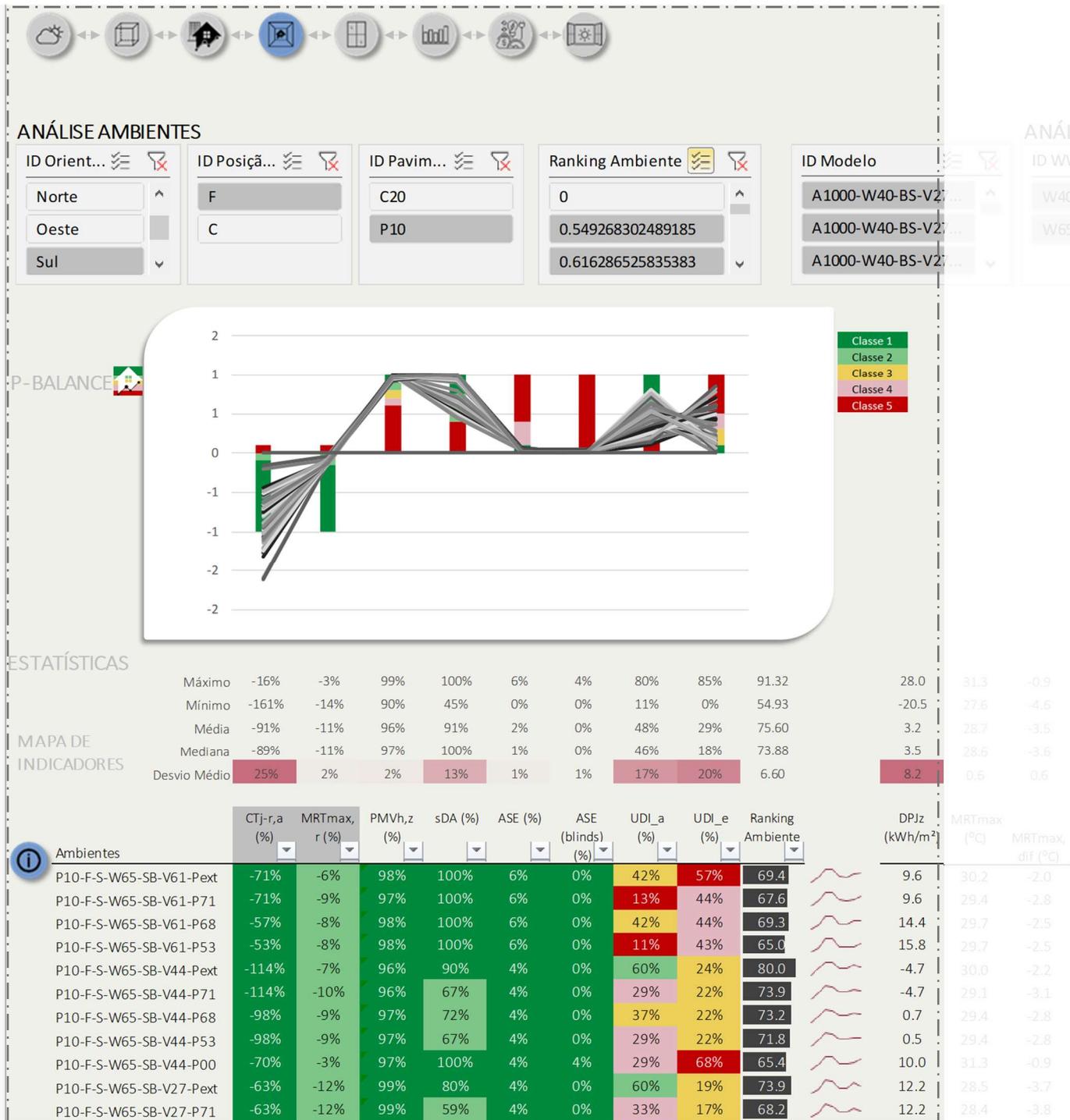
Figura 116 – Análise Inicial Exploratória – Avaliação Integrada por Ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance



Elaborado pela autora (2023)

5.2.2 Rota de Seleção: Maior Desempenho

Figura 117 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Ranking maior que “zero” – Fachada Sul

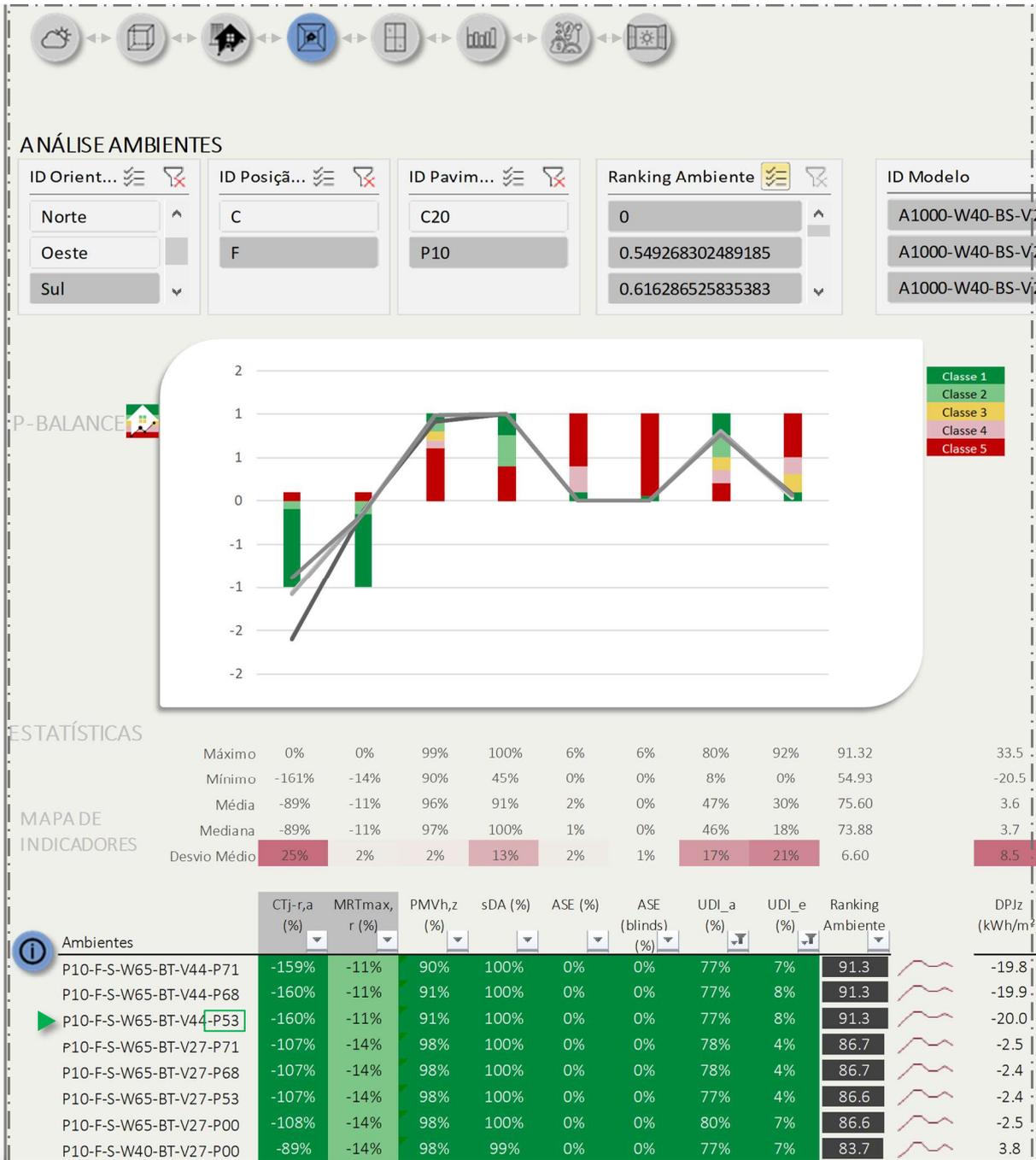


Elaborado pela autora (2023)

Com a aplicação do filtro para Classes 1 e 2 nas colunas de indicadores UDI (**Figura 118**) verifica-se que a seleção resultante inclui modelos W65-BT-V27 e V44, tal como para a seleção pela mesma rota aplicada ao edifício. Este resultado demonstra a importância da avaliação direcionada pela orientação da fachada no processo de seleção de alternativas de projeto. Destaca-se que os modelos com maiores reduções de $CT_{j-r,a}$, são os modelos com menores reduções de $MRT_{max,r}$ e menores PMV. As maiores reduções de $CT_{j-r,a}$ puxam as notas de ranking para cima neste modelos. Estas são análise importantes, que deverão ser realizadas para o processo de seleção final. A equipe de projetos deve definir sua sensibilidade aos indicadores, com base nas premissas, restrições e objetivos do projeto.

A aplicação do método às demais orientações resultam nas seleções apresentadas nas **Figuras 119 à 121**.

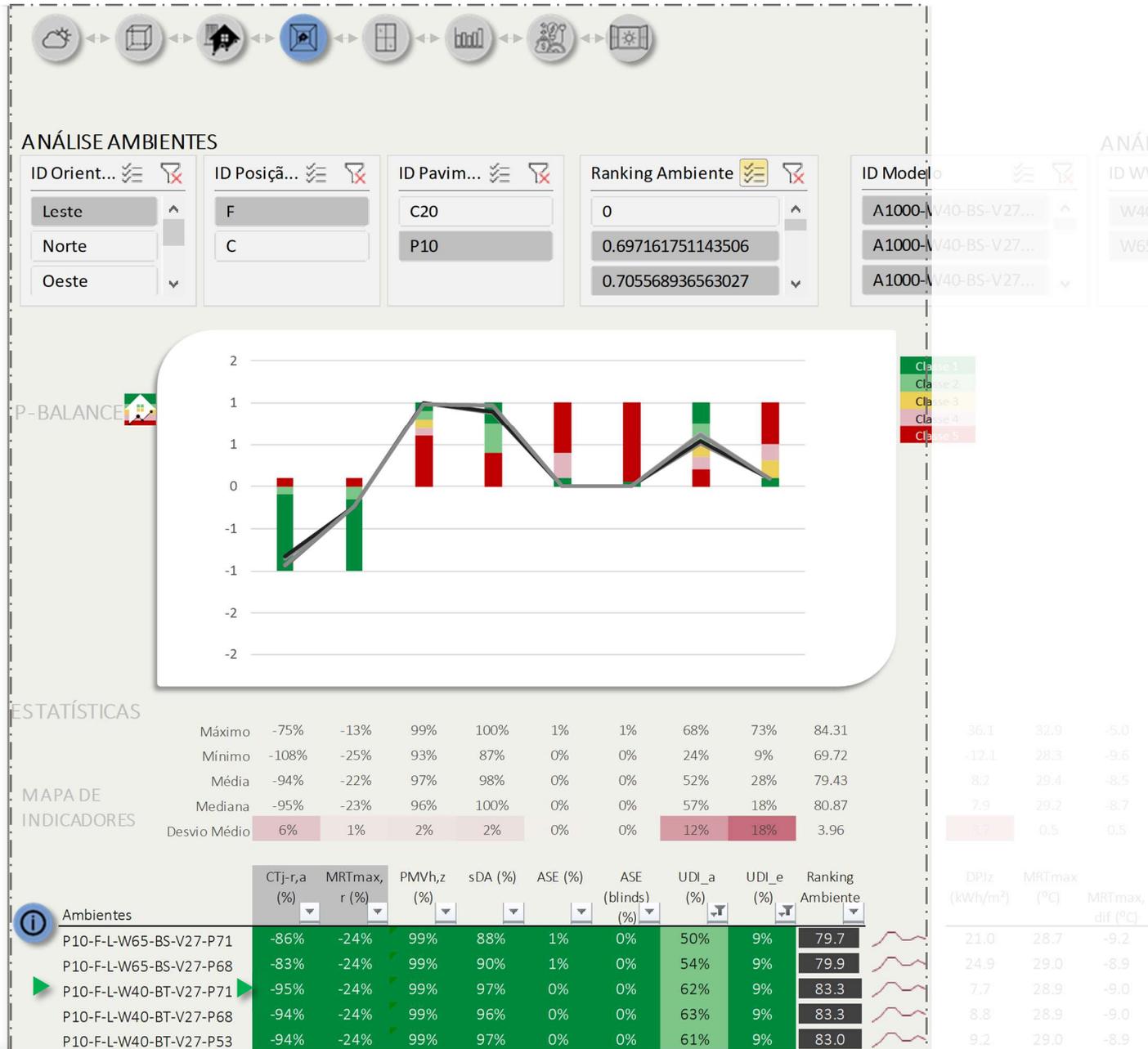
Figura 118 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente –



Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Sul

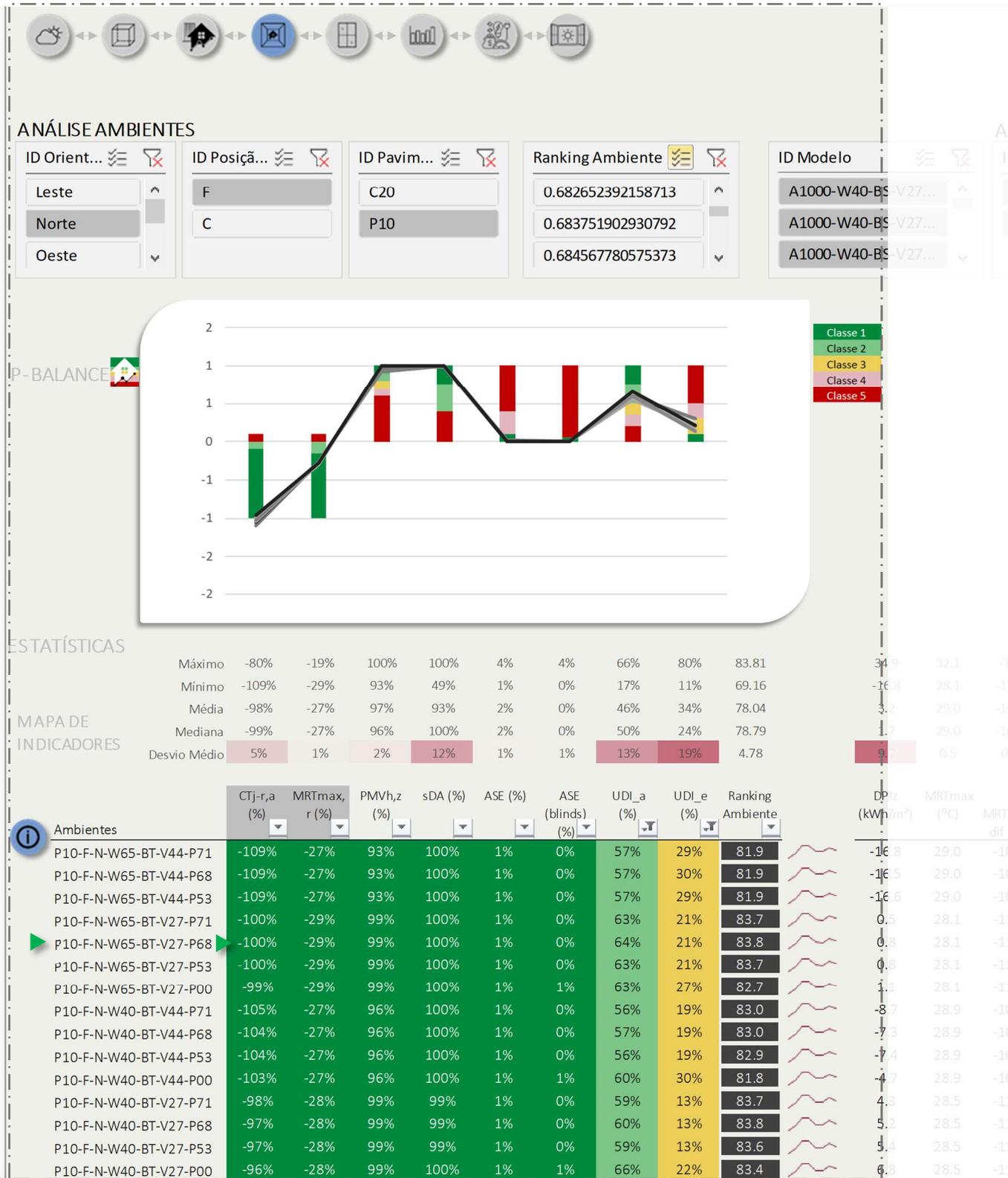
Elaborado pela autora (2023)

Figura 119 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro Classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Leste



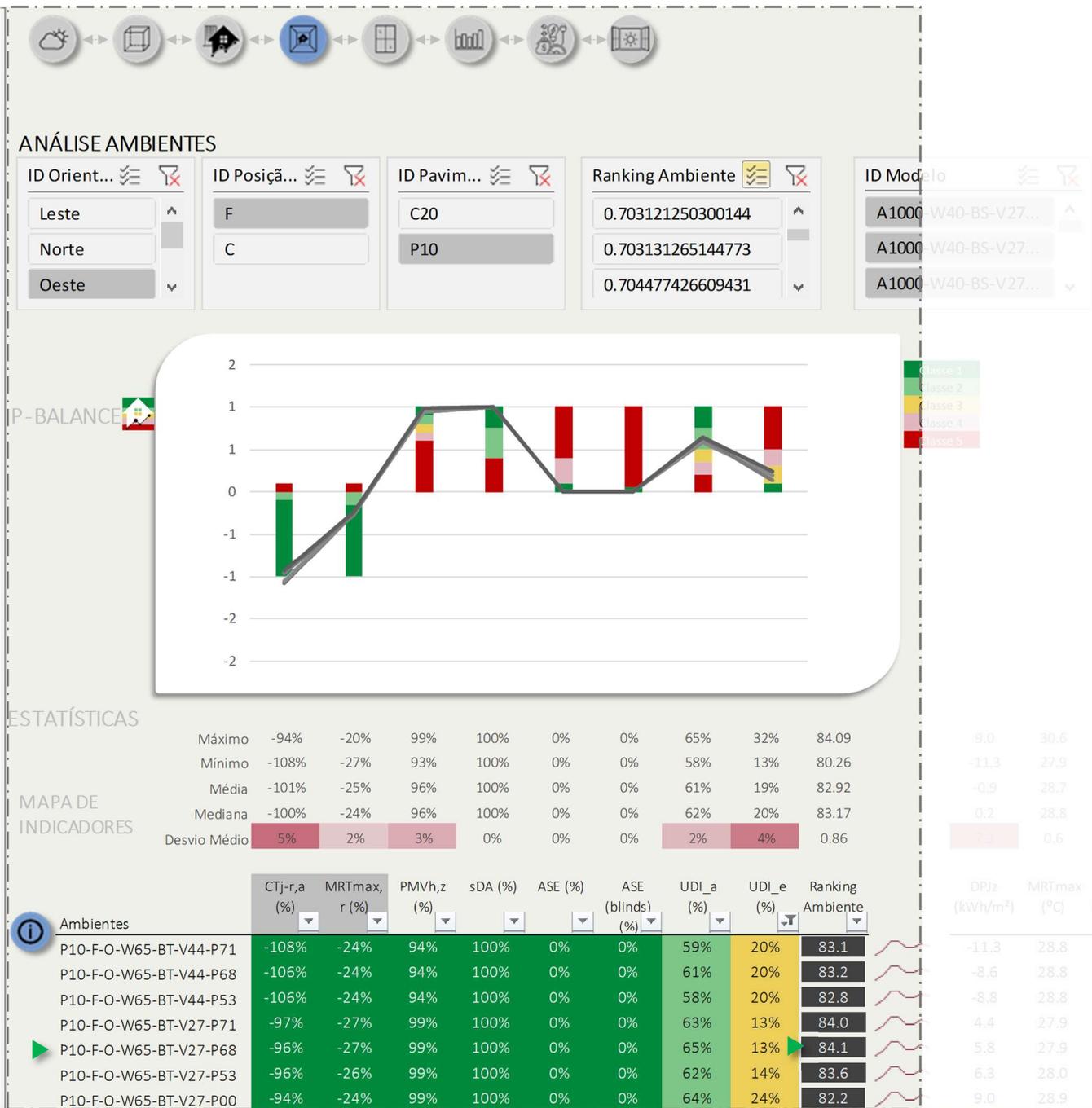
Elaborado pela autora (2023)

Figura 120 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Norte



Elaborado pela autora (2023)

Figura 121 – Rota de Seleção de Maior Desempenho - Avaliação Integrada por ambiente – Ampliação da Visualização P-Balance – Filtro classes 1 e 2 para indicadores UDI – Fachada Oeste



Elaborado pela autora (2023)

Para conclusão desta demonstração de seleção, as alternativas com maior nota de Ranking para cada orientação foram selecionadas (Figura 122). Para as fachadas Norte, Leste e Sul, mais de uma alternativa apresentam simultaneamente a maior nota de Ranking. Nos casos das Fachadas Norte e Leste, um segundo critério para seleção foi adotado: a maior variação de CTj-r,a. Para o caso da Fachada Sul, todos os indicadores possuem o mesmo

resultado, o que levou ao direcionamento da seleção da alternativa com Persiana dupla-face P53, pois é a que oferece maior conforto visual interno devido à menor transmissão difusa de iluminação. Os modelos selecionados por maior Ranking e os indicadores complementares estão indicados nos Mapas de Indicadores das **Figuras 118 à 121**.

A seleção por desempenho evidencia como cada fachada tem um comportamento distinto, na medida em que as combinações paramétricas variam para cada orientação. Alternativas com desempenho equivalentes ou com pouca variação podem ser selecionadas, para se ajustarem os parâmetros às restrições, premissas e objetivos do projeto. Mesmo na rota de seleção por desempenho, o avaliador e a equipe de projeto têm a oportunidade de selecionar a nota de ranking mais elevada, restringindo ou direcionando parâmetros. Esta flexibilidade da ferramenta e do método é uma característica intencionalmente atribuída pelo processo de desenvolvimento realizado.

Figura 122 – Rota de Seleção por Maior Desempenho - Avaliação Integrada por Ambiente – Resumo dos Modelos com melhor balanço entre indicadores. Resultado para cada orientação, modelo com maior nota de Ranking

Ambientes	CTj-r,a (%)	MRTmax, r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-S-W65-BT-V44-P53	-160%	-11%	91%	100%	0%	0%	77%	8%	91.3
P10-F-O-W65-BT-V27-P68	-96%	-27%	99%	100%	0%	0%	65%	13%	84.1
P10-F-N-W65-BT-V27-P68	-100%	-29%	99%	100%	1%	0%	64%	21%	83.8
P10-F-L-W40-BT-V27-P71	-95%	-24%	99%	97%	0%	0%	62%	9%	83.3

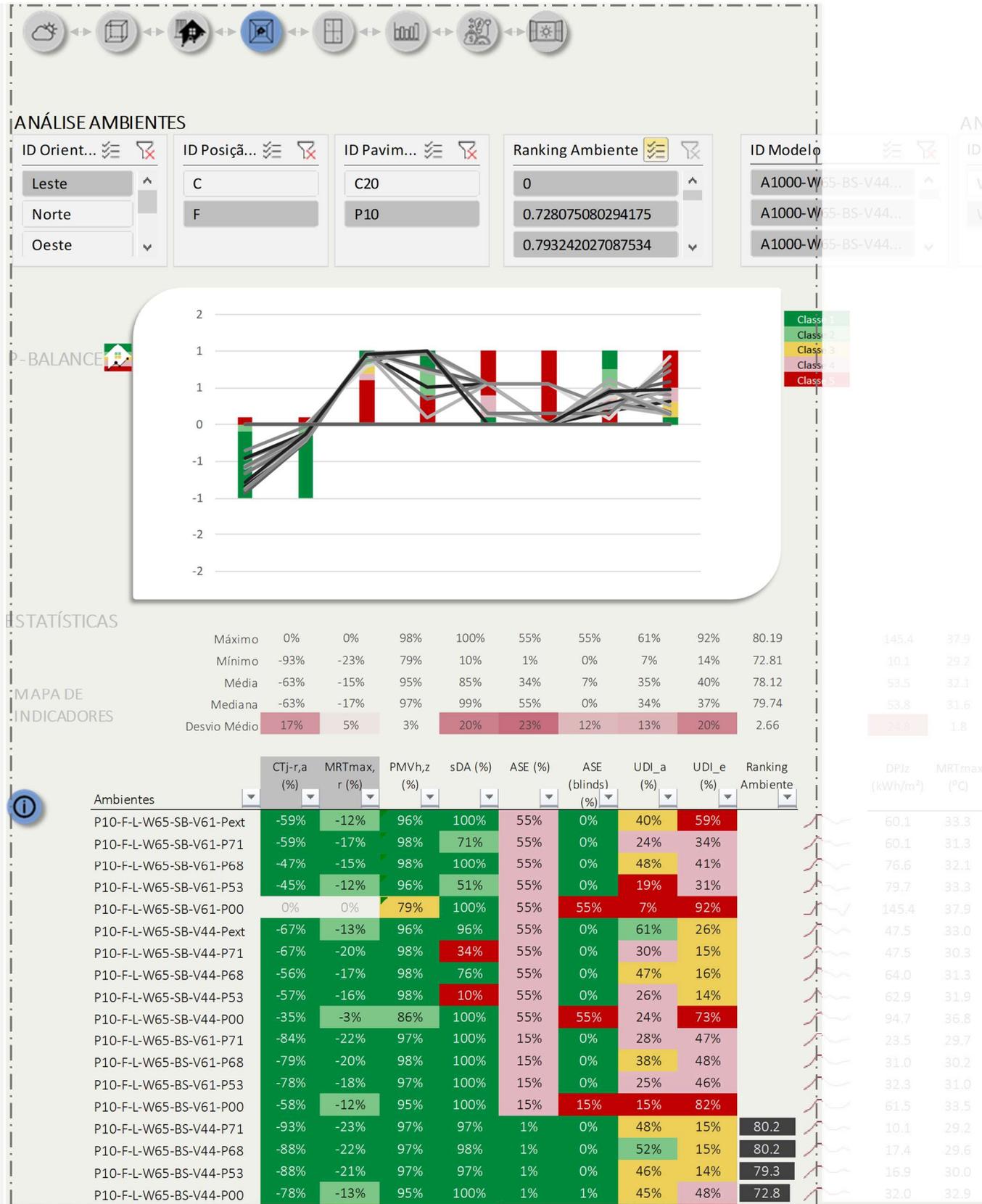
Elaborado pela autora (2023)

5.2.3 Rota de Seleção: Por Parâmetro

Assim como na avaliação do edifício, a avaliação por parâmetro aplicada ao ambiente é iniciada com seleção dos valores definidos pelo projeto:

1. O vidro insulado V27 não será considerado;
2. Fachada totalmente sombreada por brises (BT) não será considerada;
3. Apenas WWR de 65% será considerado.

Figura 123 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Aplicação de Premissas de Projeto – Fachada Leste



Elaborado pela autora (2023)

Observa-se na **Figura 123** acima, que alternativas com Ranking igual “zero” também retornam desta seleção. Aplicando-se este procedimento a todas as orientações e em seguida filtrando-se apenas as Classes mais altas disponíveis para cada indicador, resulta um conjunto de seleções por parâmetro, para cada orientação, apresentados na **Figura 124** abaixo.

Figura 124 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Aplicação de Premissas de Projeto – Fachadas Leste, Norte, Oeste e Sul – Aplicação de Filtros de Classe de 1 a 4

Ambientes	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-L-W65-BS-V44-P71	-93%	-23%	97%	97%	1%	0%	48%	15%	80.2
P10-F-L-W65-BS-V44-P68	-88%	-22%	97%	98%	1%	0%	52%	15%	80.2
P10-F-L-W65-BS-V44-P53	-88%	-21%	97%	97%	1%	0%	46%	14%	79.3

Ambientes	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-N-W65-BS-V44-P71	-97%	-27%	96%	64%	4%	0%	39%	16%	75.4
P10-F-N-W65-BS-V44-P68	-92%	-26%	96%	78%	4%	0%	45%	16%	77.1
P10-F-N-W65-BS-V44-P53	-92%	-25%	96%	60%	4%	0%	38%	16%	73.9

Ambientes	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-O-W65-BS-V44-P71	-93%	-25%	96%	86%	28%	0%	44%	15%	
P10-F-O-W65-BS-V44-P68	-87%	-23%	96%	90%	28%	0%	49%	16%	
P10-F-O-W65-BS-V44-P53	-87%	-22%	96%	85%	28%	0%	42%	15%	

Ambientes	CTj-r,a (%)	MRTmax,r (%)	PMVh,z (%)	sDA (%)	ASE (%)	ASE (blinds) (%)	UDI_a (%)	UDI_e (%)	Ranking Ambiente
P10-F-S-W65-SB-V44-Pext	-114%	-7%	96%	90%	4%	0%	60%	24%	80.0
P10-F-S-W65-BS-V44-P71	-125%	-10%	94%	100%	0%	0%	59%	17%	83.9
P10-F-S-W65-BS-V44-P68	-122%	-10%	94%	100%	0%	0%	58%	17%	83.4
P10-F-S-W65-BS-V44-P53	-123%	-10%	94%	100%	0%	0%	58%	17%	83.5

Elaborado pela autora (2023)

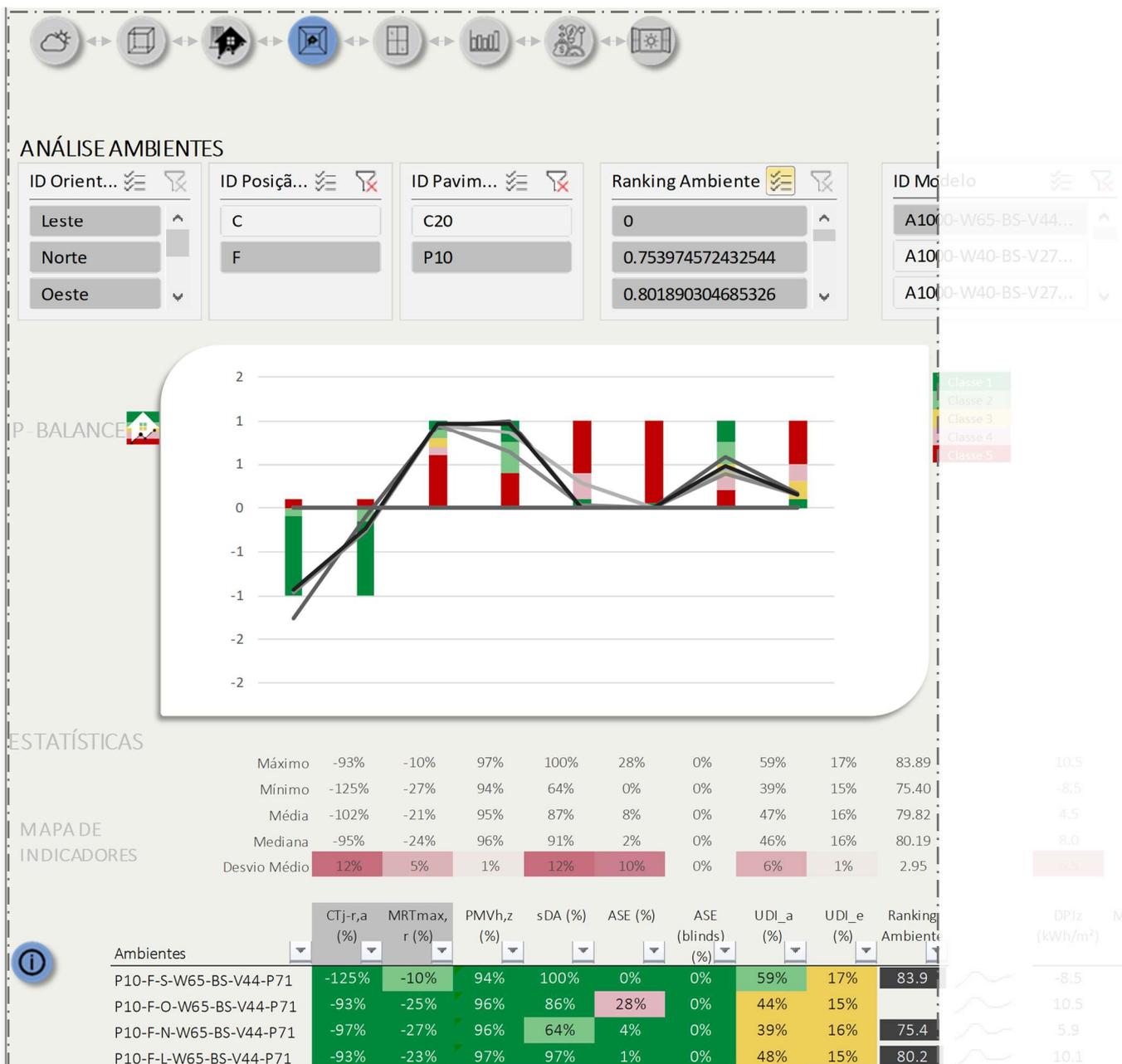
A **Figura 124** evidencia que no processo de seleção por parâmetros, alguns indicadores não chegam a atender os critérios estabelecidos, o que deverá considerado pela equipe de projeto. A seleção a partir destes conjunto requer uma análise atenta, baseada na análise dos valores numéricos apresentados na tabela. Como um procedimento possível para esta análise, nesta demonstração foi selecionado o maior Ranking, condicionado a:

1. Com maior número de indicadores em Classes 1 e 2 e na ausência destas, 3 e 4;

- Quando todas as classes são iguais, caso da Fachada Oeste por exemplo, e apenas o tipo de persianas varia, selecionou-se a alternativa com maior redução de CTj-r,a.

Observa-se que no caso da Fachada Sul, a seleção retornou uma alternativa sem brise, mas com persiana externa, com resultados muito próximos das alternativas com brise. Este é um destaque que pode ser muito interessante em um processo de consultoria, pois pode abrir a possibilidade de reconsideração de premissas de projeto, uma vez que há nesta alternativa uma possibilidade de redução e custo de investimento inicial pela não instalação dos brises.

Figura 125 – Rota de Seleção por Parâmetro - Avaliação Integrada por Ambiente – Definição de Modelo – Fachadas Leste, Norte, Oeste e Sul



Elaborado pela autora (2023)

A alternativa selecionada por esta rota é apresentada na **Figura 125**, incluindo seu desempenho por fachada. O resultado do processo de avaliação por ambientes, neste caso de estudo, corrobora com o resultado de maior desempenho selecionado por parâmetro para o edifício, apresentado na **Figura 114**, na seção 5.1.3.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A avaliação integrada com base em análises simultâneas de múltiplos indicadores de conforto ambiental e eficiência energética, contemplada em serviços de consultoria especializada em desempenho de edifícios, deve atender ao requisito de prazos exíguos do mercado imobiliário, além de seu escopo técnico. A complexidade das análises em uma avaliação desta natureza atribui um elevado nível de dificuldade para uma comunicação efetiva entre consultores - especialistas, e demais partes interessadas em um projeto - não especialistas.

O desenvolvimento de ferramentas e métodos para suporte ao processo de avaliação tem sido orientado para a aplicação de simulações computacionais, algoritmos de otimização por inteligência artificial, arquitetura paramétrica e design generativo. Enquanto o corpo técnico profissional e empresas da área de projetos e consultorias buscam se adaptar para o pleno emprego destas tecnologias já disponíveis, a construção de edifícios avança e as consultorias, quando demandadas, são realizadas com as ferramentas e conhecimentos já assimilados.

Não podemos perder a oportunidade de construir edifícios com melhor desempenho, enquanto aguardamos a absorção das novas tecnologias para avaliação. Para a implementação das ferramentas disponíveis e da abordagem de projeto integrado, se faz necessária a superação de obstáculos observados na prática profissional da autora e em pesquisas de outros autores. Nesta tese foram destacados os seguintes aspectos, que dificultam a adoção de ferramentas disponíveis na prática profissional:

- ✓ Ausência de Técnicas de Visualização aplicadas adequadamente (SRIVASTAV, LANNON, *et al.*, 2009);
- ✓ Necessidade de melhorias dos requisitos de interoperabilidade de componentes, automação, parametrização, documentação e programação (DÍAZ, ALARCÓN, *et al.*, 2017);
- ✓ Limitações do potencial de interpretação das soluções das ferramentas de otimização existentes, da participação dos arquitetos no processo de decisão e da capacidade de desenvolvimento de estruturas de programação, que requerem habilidades específicas (LI, HAN, *et al.*, 2023);

- ✓ Necessidade de se considerar a subjetividade do processo de tomada de decisão (KAHNEMAN, 2011), (FISKE e TAYLOR, 1991), (MLODINOW, 2012), dada a relevância de influências das atitudes e comportamentos de decisão das partes interessadas (LI, ZHANG, et al., 2022), (MUKHERJEE e MUGA, 2010);
- ✓ Limitações técnicas, normativas e de ferramentas quanto à disponibilização de indicadores de desempenho para a representação adequada do desempenho integrado.

Os obstáculos relacionados evidenciam a necessidade de uma ferramenta e método de avaliação acessíveis, que possam ser implementados em muito curto prazo, permitindo a transição efetiva para a abordagem de projeto integrada, na medida em que facilita análises de desempenho multidimensionais e a comunicação entre técnicos especialistas e tomadores de decisão.

6.1 Comprovação da Tese

A ferramenta metodológica P-Balance, desenvolvida e apresentada nesta tese, demonstrou-se útil para a **simplificação do processo de avaliação integrada** multiobjetivo de desempenho de edifícios. Em resposta aos obstáculos mencionados, seu desenvolvimento incorporou conceitos de projeto integrado, otimização multiobjetivo, tomada de decisão, e técnicas de visualização de dados.

6.1.1 Projeto Integrado, otimização multiobjetivo e tomada de decisão

O conceito de **projeto integrado** fica explícito no método de avaliação proposto e apresentado no Capítulo 5, na medida que este pressupõe decisões baseadas nas restrições, premissas e objetivos do projeto, a cada procedimento de seleção realizado. A **otimização multiobjetivo** ocorre então por meio de um método interativo e participativo: especialistas e não especialistas têm a oportunidade de interagir no ambiente da ferramenta por meio de suas funcionalidades de navegação, seleção e filtros. O método de avaliação proposto incorpora princípios de projeto integrado na tomada de decisão, promovendo:

- Um ambiente de tomada de decisões coletivas, onde cada profissional tem a oportunidade de expressar e compartilhar suas considerações, quer sejam técnicas, econômicas ou estéticas por exemplo, influenciando o resultado;

- Transparência, com informações acessíveis e processos claros para que todos possam entender como as decisões são alcançadas;
- Inclui mecanismos para responsabilizar os tomadores de decisão perante as partes interessadas;
- Promove o debate e a deliberação aberta, permitindo que diferentes perspectivas sejam consideradas antes de tomar decisões;
- Evolução constante do processo: é um método adaptável aos desafios específicos que possam surgir a cada novo projeto, e ao longo do tempo, com a evolução de indicadores e critérios, por exemplo.

A utilização da ferramenta e do método de avaliação embarcado, contribui ainda para a geração de ativos de conhecimentos especializados para toda a equipe de projeto envolvida. A adaptação e o desenvolvimento de habilidades cognitivas, específicas dos profissionais atuantes em projetos integrados orientados ao desempenho, é uma condição indispensável para o processo de incorporação de metodologias e tecnologias mais elaboradas em momentos futuros. Destaca-se portanto, o potencial educativo da ferramenta.

A ferramenta é acessível e flexível. Acessível uma vez que foi desenvolvida em Excel, permitindo que a maioria dos profissionais que trabalham com simulação estejam habilitados a realizar ajustes, adaptações, incorpore novos painéis e gráficos. Flexível, uma vez que a customização e aplicação da ferramenta vai além de elementos visuais, podendo incluir:

- Incorporação de novos indicadores ou exclusão de indicadores;
- Adaptação das barras de critérios;
- Aplicação à qualquer tipologia de edifícios;
- Alteração de processos de avaliação.

6.1.2 *Técnicas de Visualização de Dados*

Os aspectos de **visualização de dados** assumiram uma posição central na elaboração de gráficos, visualizações e painéis, cujo desenvolvimento priorizou o processamento pré-atentivo de dados e informações. Os estímulos visuais disponibilizados ao intérprete são suficientes, tendo como objetivo evitar a sobrecarga do seu sistema perceptivo, uma vez que a complexidade das representações é limitada e equilibrada. Esta característica possibilita

uma análise mais **ágil** dos dados, além de ser mais **amigável**, uma vez que leva em conta a forma como ocorre o processamento visual e mental de informações.

As classificações cromáticas, reduzem a demanda cognitiva e o tempo de análise na medida em que os conceitos complexos dos indicadores e suas relações são representados por atributos pré-atentivos, dentro dos limites estabelecidos para o processamento visual rápido: 5 cores e 1 única forma: linhas do gráfico P-Balance. O tomador de decisão tem ciência dos *trade-offs* entre indicadores de desempenho e das classes de atendimento de critérios, de modo inequívoco e instantâneo, ao realizar uma seleção. Esta característica possibilita o alinhamento e uma comunicação fluida entre especialistas e não especialistas acerca do comportamento das estratégias de projeto contempladas nas variações paramétricas: a visualização dos dados de desempenho em apenas 3 blocos de informação – o gráfico P-Balance, a Barra de Estatística e o Mapa de Indicadores - permitem a redução das referidas influências socioeconômicas e vieses mencionados na seção 2.3.1, uma vez que os dados objetivos são destacados e disponíveis.

O gráfico P-Balance é o elemento central da visualização de mesmo nome e fundamental no processo de avaliação ágil:

- 1 única linha – perfil - codifica o comportamento de desempenho de múltiplos indicadores e seus *trade-offs*. A informação condensada que uma única linha representa neste gráfico, é equivalente à dados dispersos em dezenas de gráficos diferentes em avaliações convencionais, os quais demandam diversas consultas para a geração mental da informação integrada, a qual não é disponibilizada de forma gráfica e resumida na maioria dos casos;
- O conjunto de linhas, codifica o conjunto de dados referentes a múltiplos modelos;
- A sobreposição dos perfis com as barras de critérios já indica se o desempenho é equilibrado, quando se observa se o atendimento de diversos indicadores ocorre simultaneamente, ou não.

A Barra de estatística, em especial o destaque por gradiente de cor da linha de desvio padrão, confirma o indicador mais sensível, observável também no gráfico pelo espaçamento entre nós.

O Mapa de Indicadores classifica cada valor de forma cromática, atribuindo um significado em termos de atendimento de critérios de desempenho, e oferece a oportunidade de análise atenta de valores individuais.

Estes elementos de suporte gráfico e visual evitam a necessidade de se consultarem dezenas de gráficos específicos por tipo de indicador e a demanda de integração mental de dados, o que dificulta a avaliação e a comunicação.

A agilidade das análises foi ainda demonstrada no Capítulo 5. Com apenas 3 grupos de procedimentos simples, um avaliador consegue realizar uma avaliação integrada complexa, em poucos minutos. Os procedimentos se resumem a uma análise inicial exploratória para reconhecimento de dados, seguida da aplicação de seleções de indicadores de desempenho e seleções de parâmetros definidos pela equipe de projeto.

6.2 Limites da Pesquisa

Esta pesquisa abordou o desenvolvimento de uma ferramenta-metodológica, para apoio ao processo de avaliação de alternativas de projetos de fachadas. Para que a agilidade observada pela aplicação da ferramenta seja ampliada à todas as etapas do processo de consultoria, é fundamental o desenvolvimento de ferramentas e métodos para:

- ✓ Coleta e sistematização de dados de entrada para simulação;
- ✓ Processos integrados acessíveis de modelagem e simulação e,
- ✓ Automação da extração de dados de saída e cálculo de indicadores.

O presente desenvolvimento contou com avanços importantes no processo de coleta e sistematização de dados de entrada e de extração de dados de saída e cálculo de indicadores, que devem ser considerados em futuros desenvolvimentos.

Coleta e sistematização de dados de entrada: especialistas devem aprofundar o conhecimento sobre como os dados são utilizados nos cálculos realizados pelos softwares de simulação. Esta demanda foi evidenciada pelo estudo compacto de dados de entrada de vidros, que devem ser feitos pelo método detalhado, e com cálculos de propriedades baseados nas Normas da *National Fenestration Rating Council* (NFRC). Variações de consumo anual total significativas, de até 4,74%, foram observadas no estudo compacto do **Anexo I**,

devido à variação do método de entrada de dados e da norma adotada nos cálculos de propriedades do vidro. O método detalhado de entrada de dados de vidros, também é requerido para cálculos de transferência de calor quando dispositivos de proteção solar como persianas são considerados no estudo.

Automação da extração de dados de saída e cálculo de indicadores: anterior à automação, é fundamental que o especialista tenha o conhecimento de quais são os indicadores necessários para a sua avaliação e, portanto, quais saídas devem ser extraídas dos softwares de simulação. Esta pesquisa evidenciou como um indicador de conforto térmico amplamente adotado em avaliações de desempenho, o PMV, calculado diretamente pelo software Energyplus tem baixa sensibilidade às variações paramétricas de componentes de fachada definidas para o estudo: entre 88% e 99%, sendo que esta amplitude de resultados atende ao critério máximo definido. Para o caso da avaliação global do edifício, a análise foi complementada pelo indicador DPJa,r, que resultou para o objeto do estudo, em uma amplitude de redução de densidade de potência de janela anual de 0% a 111%²².

Também foram complementadas as análises de desempenho de iluminação natural, com a inclusão de indicadores de UDI. No caso do indicador ASE, na avaliação global do edifício, observou-se a variação de 0 a 31%, enquanto os indicadores de UDI_e, variam entre 0 e 81%, com resultados em diversos níveis de atendimento em relação aos critérios definidos.

6.3 Continuidade da Pesquisa

Destacam-se sete linhas de pesquisa para continuidade deste trabalho:

1. Comparação com outras ferramentas de visualização e apoio ao processo de avaliação, especialmente otimizadores de projetos baseados em algoritmos de inteligência artificial;
2. Estudo sistemático e objetivo do uso da ferramenta em projetos integrados orientados ao desempenho, considerando a ótica de especialistas e não especialistas;
3. Desenvolvimento de ferramentas e métodos para coleta e sistematização de dados de entrada para simulação, que agilizem e garantam a qualidade do processo;

²² Os valores de DPJa,r superam 100% pois seu cálculo é baseado na soma de ganhos e perdas de carga térmica pela janela. Em aprimoramento futuro, o indicador poderá considerar somente ganhos de calor, ou se dividir em dois indicadores separados, para ganhos ou perdas de carga térmica.

4. Automação da extração de dados de saída e cálculo de indicadores;
5. Desenvolvimento de ferramenta e método integral para consultoria, incluindo as etapas de coleta e sistematização de dados de entrada, procedimentos de modelagem e simulação integrados, automação da extração de dados de saída e cálculo de indicadores;
6. Estudo aprofundado sobre indicadores para avaliação integrada, incluindo o refinamento do indicador Ranking, que deverá contar com ajustes de cálculo, considerando:
 - A definição de fatores de ponderação conforme técnica de tomada de decisão definida pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP);
 - O balanceamento entre resultados de cada indicador, possibilitando que todos possam atingir qualquer valor determinado na escala definida – neste caso de 0% a 100%;
 - Que todos os resultados tenham valores limitados à escala definida;
 - O balanceamento da quantidade de indicadores por aspecto de desempenho avaliado, de modo a não sobrevalorizar aspectos específicos.
7. Aplicação da ferramenta para outras tipologias arquitetônicas.

BIBLIOGRAFIA GERAL

ABDELALIM, A.; O'BRIEN, W.; SHI, Z. Data visualization and analysis of energy flow on a multi-zone building scale. **Automation in Construction**, n. 84, 2017. p. 258-273.

ABDEL-GHANY, M. The Evolution of research in consumer Science: A 200-Year Perspective. **Family and Consumer sciences Research Journal**, 2001. Disponível em: <<http://fcs.sagepub.com/cgi/content/abstract/30/2/223>>. Acesso em: 21.08.2009>.

ABDELRAHMAN, M. M. et al. Data science for building energy efficiency: A comprehensive text-mining driven review of scientific literature. **Energy & Buildings**, n. 242, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14724**: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Pesquisa na seção notícias**, 2020. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/noticias/5282-conheca-a-nova-coletanea-de-normas-modelagem-de-informacao-da-construcao-bim>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

AFFUL, A. E. et al. Enablers of incorporating indoor environmental quality (IEQ) principles into buildings. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2021.

AGÊNCIA TECERE. Big Data: análise de dados traz mais agilidade e precisão nas transações imobiliárias. **Seção Tendências & Insights - Site JLL**, 2019. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/investidor/big-data-analise-dados-traz-agilidade-precisao-transacoes-imobiliarias>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Integrated Project Delivery: A Guide**, Versão 1, 2007.

ALAMIRAH, H.; SCHWEIKER, M.; AZAR, E. Immersive virtual environments for occupant comfort and adaptive. **Building and Environment**, v. 207, 2022.

ALIZADEHSALEHI, S.; HADAVI, A.; HUANG, J. C. BIM/MR-Lean Construction Project Delivery. In: IEE TECHNOLOGY & ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE (TEMSCON). **Proceedings.**, 2019.

AL-SAGGAF, A.; NASIR, H.; TAHA, M. Quantitative approach for evaluating the building design features impact on cooling energy consumption in hot climates. **Energy & Buildings**, n. 211, 2020.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **Integrative Process (IP) - ANSI Consensus National Standard Guide for Design and Construction os Sustainable Buildings and Communities**. [S.l.]: Market Transformation to sustainability (MTS) & American National Standards Institute (ANSI), 2012.

ARGAN, G. C. A época do funcionalismo - Urbanismo, Arquitetura, Desenho Industrial. In: ARGAN, G. C. **Arte Moderna**. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. p. 263-300.

ASHOUR, Y. S. E. **Optimizing Creatively in Multi-Objective Optimization**. 2015. 122 f.: Thesis (Master in Environmental Design) - Faculty of Graduate Studies, University of Calgary, Alberta, 2015.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55 - 2017 - Condições Térmicas Ambientais para Ocupação Humana**. Atlanta: ASHRAE: [s.n.], 2017.

_____. **ANSI/ASHRAE Standard 209-2018 - Energy Simulation Aided design for Buildings Except Low-rise Residential Buildings**. [S.l.]: [s.n.], 2018.

_____. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2010: Norma de energia para construções com exceção dos edifícios residenciais de baixa altura**. Atlanta: Ashrae, 2010.

ATTEMA, J. et al. The Financial Case for High Performance Buildings: Quantifying the Bottom Line of Improved Productivity, Retention, and Wellness. **Stok, LLC**, San Francisco, 2018.

AUTODESK. **Consulta à Seção Solutions, BIM**, 2020. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/solutions/bim>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

BAGHOOLIZADEH, M. et al. Multi-objective optimization of Venetian blinds in office buildings to reduce electricity consumption and improve visual and thermal comfort by NSGA-II. **Energy & Buildings**, n. 278, 2023.

BAHDAD, A. A. S. et al. Balancing daylight in office spaces with respect to the indoor thermal environment through optimization of light shelves design parameters in the tropics. **Indoor and Built Environment**, V. 37, n.7, 2022. p. 1963-1985.

BAHR, W. A comprehensive assessment methodology of the building integrated photovoltaic blind system. **Energy and Buildings**, n.82, p.703-708, 2014.

BARGH, J. A.; MORSELLA, E. The Unconscious Mind. **Perspectives on Psychological Science**, v. 3, p. 73-79, 2008.

BARNABY, C. S.; WRIGHT, J. L.; COLLINS, M. R. Improving Load Calculations for Fenestration with Shading Devices. **ASHRAE Transactions**, v.115, part 2, p.31-44, 2009.

BAUMEISTER, R. F.; LEARY, M. R. The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation. **Psychological Bulletin**, v.117, N. 3, 1995. 497-529.

BAVARESCOA, M. V. et al. Methods used in social sciences that suit energy research: A literature review on qualitative methods to assess the human dimension of energy use in buildings. **Energy & Buildings**, n. 209, 2019.

BECERIK-GERBER, B. et al. Ten questions concerning human-building interaction research for improving the quality of life. **Building and Environment**, n. 226, 2022.

BETTMAN, J. R. Memory Factors in Consumer Choice: A Review. **Journal of Marketing**, v. 43, p. 37-53, 1979.

BOMBERG, M. Building Science or building physics. **Frontiers of Architectural Research**, n.1, p. 421-423, 2012.

BORDASS, B.; LEAMAN, A. Phase 5: Occupancy - post-occupancy evaluation. In: PREISER, W. F. E.; VISCHER, J. C. (.). **Assessing Building Performance**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2005. Cap. Part Two - 7, p. 72-78.

BRACHT, M. K. **Estudo de alternativas de projeto com foco em eficiência energética utilizando BIM**. 2016. 85f.: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2016.

BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, n. 121, 2021.

CACCIATORI, M. M. F. **Diretrizes dinâmicas para projeto de fachadas de edifícios de escritórios de alto padrão, na cidade de São Paulo, com base no potencial de eficiência energética e viabilidade econômica**. 2016. 2v.: Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, São Paulo, 2016.

CACCIATORI, M. M. F. et al. **Percepção, Satisfação e Decisões de Projeto no Museu do Futebol**. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 6., 2019, Uberlândia. Anais. Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU. 2019. p. 198-212.

CACCIATORI, M. M. F.; VALDIVIA, J. D. Manual para utilização: Example-File – 4FacadeGradualShading_v.1 e Data-Set – BR-WindowShadeMaterial_v.1. **Série Simulação de Persianas Automatizadas em EnergyPlus**, São Paulo, v.1, 2019. Disponível em: <www.bemarch.com.br>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CACCIATORI, M. M. F.; VALDIVIA, J. D. Relatório: Redução de Consumo Energético através de Persianas Automatizadas. **Série Simulação de Persianas Automatizadas em EnergyPlus**, São Paulo, v.2, 2019b. Disponível em: <www.bemarch.com.br>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CACCIATORI, M. M. F.; VALDIVIA, J. D. Redução de Consumo Energético com o uso de Persianas Automatizadas | ETAPA 2: Uma comparação entre tipos de controles de persianas automatizadas e arquivos climáticos. **Série Simulação de Persianas automatizadas em EnergyPlus**, São Paulo, 2021.

CAIRO, A. **El arte funcional: infografía e visualización de información**. Madrid: Alamut, 2012.

CASTELO BRANCO, R. A. **Integrated Algorithmic Design**. 2017. 102f.: Dissertação (Mestrado) - Técnico Lisboa, Lisboa, 2017.

CERTI. Normatização BIM: a importância das normas ISO na aplicação da tecnologia. **Pesquisa no blog da homepage.**, 2023. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/normatizacao-bim/>. Acesso em: 09 jan. 2023.

CETIN, K.; PASSE, U.; KUNWAR, N. **RP-1710 -- Effect of dynamic shading devices on daylighting and energy performance of perimeter zones**. ASHRAE. [S.l.], p. 186. 2019.

CHANG, Y.; HSIEH, S. A Review of Building information Modeling research for Green Building design through Building Performance Analysis. **ITcon**, V. 25, 2020.

CHEN, et al. Introducing causal inference in the energy-efficient building design process. **Energy & Buildings**, n. 277, 2022.

CHEN, X.; GEYER, P. Machine assistance in energy-efficient building design: A predictive framework toward dynamic interaction with human decision-making under uncertainty. **Applied Energy**, n. 307, 2022.

CHEN, Y. et al. Simulation and visualization of energy-related occupant behavior in office buildings. **Building Simulation**, n.10, p.785-798, 2017.

CHEN, Y. et al. Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Development within the Smart City. **Sustainability**, 2022.

CHEUNG, T.; SCHIAVON, S.; PARKINSON, T. Analysis of the accuracy on PMV-PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. **Building and Environment**, n.153, p.1-24, fev. 2019.

CHINAZZO, G. et al. Quality criteria for multi-domain studies in the indoor environment: Critical review towards research guidelines and recommendations. **Building and Environment**, n. 226, 2022.

CICHOCKA, J. M.; BROWNE, W. N.; RODRIGUEZ, E. **Optimization in the architectural practice**. In: 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2017, Hong Kong, Asia. Protocols, Flows and Glitches, Proceedings. Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). 2017. p. 387-397. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_155.pdf. Acesso em: 17 fev. 2020.

COELHO, K. M. **A Implementação e o Uso da Modelagem da Informação da Construção em Empresas de Projeto de Arquitetura**. 2017. 289f.: Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo, 2017.

COMMUNITY.TABLEAU. **Consulta à homepage.**, 2019. Disponível em: <https://community.tableau.com/docs/DOC-9135>. Acesso em: 20 fev. 2020.

COSTA, G. J. C. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. 4ª. ed. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2013.

DE DEAR, et al. A review of adaptive thermal comfort research since 1998. **Energy & Buildings**, n. 214, 2020.

DE PAULA, N. **A gestão de empresas de projeto e sustentabilidade ambiental de edificações**. 2016. 276 f.: Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2016.

DÍAZ, H. et al. Multidisciplinary Design Optimization through process integration in the AEC industry: Strategies and challenge. **Automation in Construction**, n. 72, 2017. p. 102-119.

D'OCA, S. et al. Synthetizing building physics with social psychology: An interdisciplinary framework for context and occupant behavior in office buildings. **Energy Research & Social Science**, v.34, p. 240-251, 2017.

D'OCA, S.; HONG, T.; LANGEVIN, J. The human dimensions of energy use in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, part 1, p. 731-742, 2018.

DONDETI, K.; REINHART, C. F. A 'PICASA' for BPS - An interactive data organization and visualization system for building performance simulations. In: 12th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. **Proceedings.**, 2011.

DOS SANTOS, E. R. BIM na verificação de requisitos em projetos de arquitetura. In: SALGADO, M. S.; SILVOSO, M. M.; GRABOIS, T. M. **Arquitetura, Materialidade e Tecnologias Digitais: Aplicações na Produção e Conservação do Ambiente Construído**. 1a. ed. Rio de Janeiro: PROARQ-FAU/UFRJ, Paisagens Híbridas, 2020. p. 351.

EASTMAN, C. M.; BOND, A. H.; CHASE, S. C. Application and Evaluation of an Engineering Data Model. **Research in Engineering Design**, 1991. p. 185-207.

EISENHOWER, B. et al. A methodology for meta-model based optimization in building energy models. **Energy and Buildings**, n. 47, 2012. p.292-301.

EL-DIRABY, T.; KRIJNEN, T.; PAPAGELIS, M. BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. **Automation in Construction**, n. 82, 2017. p. 59-74.

FARAMARZI, A.; MIRJALILI, S.; HEIDARINEJAD, M. Binary equilibrium optimizer: Theory and application in building optimal control problems. **Energy & Buildings**, n. 277, 2022.

FESTJENS, A.; JANISZEWSKI, C. The Value of Time. **Journal of Consumer Research**, v. 42, 2015.

FEW, S. **Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis**. El Dorado Hills, CA: Analytics Press, 2009.

FEW, S. **Show me the numbers: Designing tables and graphs to enlighten**. El Dorado Hills, CA: Analytics Press, 2012.

FISKE, S. T.; TAYLOR, S. E. Social Categories and Schemas. In: FISKE, S. T.; TAYLOR, S. E. **Social Cognition: From Brain to Culture**. Nova York: McGraw-Hill, 1991. Cap. 4, p. 96-141.

FITZ, D. V.; SALEEB, N. Examining the quality and management of non-geometric building information modelling data at project hand-over. **Architectural Engineering and Design Management**, v.15, n.4, 2019.

FRANKLIN, B. Advice to a Young Tradesman, [21 July 1748]. In: FRANKLIN, B. **The Papers of Benjamin Franklin, January 1, 1745, through June 30, 1750**. New Haven: Yale University Press, v. 3, 1961. p. 304–308. Disponível em: <<https://founders.archives.gov/documents/Franklin/01-03-02-0130>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

FRONTINI, F.; KUHN, T. E. The influence of various internal blinds on thermal comfort: A new method for calculating the mean radiant temperature in office spaces. **Energy and Buildings**, V. 54, p. 527-533, 2012.

FU, F. Chapter Six - Design and Analysis of Complex Structures. In: FU, F. **Design and Analysis of Tall and Complex Structures**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2018. p. 177-211.

GEHL, J. **Cidades para pessoas**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2015.

GERRISH, T. et al. BIM application to building energy performance visualization and management: Challenges and potential. **Energy and Buildings**, n.144, 2017. p. 218-228.

GOMES, M. G.; SANTOS, A. J.; CALHAU, M. Experimental study on the impact of double tilted Venetian blinds on indoor daylight conditions. **Building and Environment**, n. 225, 2022.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, V.6, n.4, p.51-81, out./dez., 2006.

GRANADEIRO, V. et al. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. **Automation in Construction**, n.32, p.196-209, 2012.

GROUMPOS, P. P. **A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions**. In: CONFERENCE PAPER ARCHIVE - IFAC PapersOnLine 54-13. Proceedings. [S.l.]: [s.n.]. 2021. p. 464-471.

GW, G. W. I. The Global Wellness Economy: Brazil, June 2022. **Consulta a homepage**, jun. 2022. Disponível em: <<https://globalwellnessinstitute.org/geography-of-wellness/wellness-in-brazil/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

HABIBI, S. The promise of BIM for improving building performance. **Energy and Buildings**, n. 153, 2017.

HARARI, Y. N. **21 Lições para o século 21**. Tradução de Paulo Geiger. 6a. ed. São Paulo: Editora Schwarcz - Companhia das Letras, 2018.

HARRIS, R.; MIGLIOZZI, B.; CHOKSHI, N. 13,000 Missing Flights: The Global Consequences of the Coronavirus. **TIMES NEW YORK**, 21 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/interactive/2020/02/21/business/coronavirus-airline-travel.html>>. Acesso em: 25 fev. 2020.

HARTNETT, K.; ALBRECHT, K.; PARNOW, J. Map of Mathematics. **Quanta Magazine**, 13 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.quantamagazine.org/the-map-of-mathematics-20200213/>>. Acesso em: 25 fev. 2020.

HOLBROOK, M. B.; O'SHAUGHNESSY, J. Rejoinders: On the Scientific Status of Consumer Research and the Need for an Interpretative Approach to Studying Consumption Behavior. **Journal of Consumer Research**, v.15, Dezembro 1988.

HOLLANDER, J.; ANDERSON, E. C. The impact of urban façade quality on affective feelings. **Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research**, V. 14, n. 2, 2020.

HONG, T. et al. Advances en research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, n.116, p.694-702, 2016.

HONG, T. et al. Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. **Building and Environment**, v.114, p.518-530, 2017.

HOSAMO, H. H. et al. Multiobjective optimization of building energy consumption and thermal comfort based on integrated BIM framework with machine learning-NSGA II. **Energy & Buildings**, n. 277, 2022.

HUIZENGA, C. et al. **Window Performance for Human Thermal Comfort: Final Report to the National Fenestration Rating Council**. University of California: Center for the Built Environment (CBE). [S.l.], p. 87. 2006.

HUSKINSON, M. et al. Decision-Making Processes in Controlling Exposure to Sunlight Supported by Simulation Tools: A Case Study in Warm Weather. **Energies**, n. 14, 2021.

INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA-US). **Consulta a homepage**, 2023. Disponível em: <<https://www.ibpsa.us/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES). **IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure**. New York: [s.n.], 2012.

ILDIRI, N. et al. Impact of WELL certification on occupant satisfaction and perceived health, well-being, and productivity: A multi-office pre- versus post-occupancy evaluation. **Building and Environment**, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. 3a. ed. Geneva: ISO, 2005.

ISSA, D. H. Conheça as 5 Certificações Ambientais mais utilizadas no Brasil. **Consulta do Blog da Homepage.**, 05 set. 2018. Disponível em: <<https://blogdaliga.com.br/5-certificacoes-ambientais-mais-conhecidas-no-brasil/>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE (IWBI). Consulta à homepage. **www.wellcertified.com**, 2023. Disponível em: <<https://www.wellcertified.com/health-pays-back>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE (IWBI). **Consulta ao The WELL Building Standard**. [S.l.]: [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://v2.wellcertified.com/v/en/concepts>>. Acesso em: 03.02.2019>.

JIN, R. et al. Scientometric analysis of BIM-based research in construction engineering and management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, V. 26, n. 8, 2019. p. 1750 - 1776.

JONES LANG LASALLE (JLL). São Paulo Office Skyline - Berrini - Junho 2015. **São Paulo Office Skyline**, 2015a. Disponível em: em. Acesso em 10.12.15.

JONES LANG LASALLE (JLL). São Paulo Office Skyline, Vila Olímpia & Itaim - Novembro 2015. **São Paulo Office Skyline**, 2015b. Disponível em: em. Acesso em 10.12.15.

JONES LANG LASALLE (JLL). São Paulo - Escritórios AA & A - 3Q 2015. **On Point - Pesquisa Imobiliária**, São Paulo, 2015c. Disponível em: em. Acesso em 10.12.15.

JONES LANG LASALLE (JLL). Como tornar seu prédio mais eficiente em energia. **Seção Tendências & Insights - Site JLL**, 2016. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/investidor/como-tornar-seu-predio-mais-eficiente-em-energia>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JONES LANG LASALLE (JLL). Chucri Zaidan é o eixo de crescimento corporativo em São Paulo. **Seção Tendências & Insights - Site JLL**, 2017. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/cidades/chucri-zaidan-e-o-eixo-de-crescimento-corporativo-em-sao-paulo>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JONES LANG LASALLE (JLL). Restrospectiva 2018 - Escritórios de alto padrão. **Retrospectiva 2018 Escritórios**, 2018. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/pesquisa/retrospectiva-escritorios-alto-padrao-2018>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JONES LANG LASALLE (JLL). Mercado de escritórios registra grande volume de novos negócios e representativa queda de disponibilidade. **First Look - Escritórios de alto padrão - São Paulo | 3T 2019**, 2019b. Disponível em: <https://www.jll.com.br/content/dam/jll-com/documents/pdf/research/FirstLook_Escrit%C3%B3rios_SP_A_AA_3T2019.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JONES LANG LASALLE (JLL). Taxa de vacância de escritórios de alto padrão permanece estável em São Paulo | 1T2023. **First Look - Escritórios**, 03 mai. 2023a. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/pesquisa/taxa-vacancia-escritorios-alto-padrao-sp>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

JONES LANG LASALLE (JLL). Estudo sobre Green Building. **Pesquisa**, 31 jul. 2023b. Disponível em: <<https://www.jll.com.br/pt/tendencias-insights/pesquisa/estudo-sobre-green-building>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

JUSSELME, T. et al. Visualization techniques for heterogeneous and multidimensional simulated building performance data sets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR SUSTAINABLE DESIGN OF THE BUILT ENVIRONMENT SBDE 2017. **Proceedings.**, London, 2017. p. 971-982.

KAHN, A. et al. Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review. **Buildings**, V. 126, n.11, 2021.

KAHNEMAN, D. **Rápido e Devagar**: duas formas de pensar. Rio de Janeiro: Objetiva, 2011.

KAHNEMAN, D.; KNETSCH, J. L.; THALER, R. H. The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias: Anomalies. **Journal of Economic Perspectives**, 5, No.1, Fevereiro 1991. 193-206.

KAHNEMAN, D.; RIIS, J. Living, and thinking about it: two perspectives on life. In: HUPPERT, F. A.; BAYLIS, N.; KEVERNE, B. **The Science of well-being**. [S.l.]: Oxford, 2005. p. 285-301.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. **Econometrica**, 47, No. 2, Março 1979. 263-292.

KHAN, A. et al. Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review. **Buildings**, 2021.

KHANI, A.; KHAKZAND, M.; FAIZI, M. Multi-objective optimization for energy consumption, visual and thermal comfort performance of educational building (case study: Qeshm Island, Iran). **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, n. 54, 2022.

KIM, D.; KIM, S. An exploratory model on the usability of a prototyping-process for designing of Smart Building Envelopes. **Automation in Construction**, n. 81, 2017. p. 389-400.

KNAFLIC, C. N. **Storytelling com dados: um guia sobre visualização de dados para profissionais de negócios**. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2019.

KO, W. H. et al. Ventilation, Thermal and Luminous Autonomy Metrics for an Integrated Design Process. **Building and Environment**, California, v.145, p.153-165, 01 nov. 2018. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/81t2t9vd#author>>. Acesso em:15 jul. 2018.

KOKARAKI, N. et al. Testing the reliability of deterministic multi-criteria decision-making methods using building performance simulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 112, 2019. p. 991-1007.

KONIS, K. S. **Effective Daylighting: Evaluating Daylighting Performance in the San Francisco Federal Building from the Perspective of Building Occupants**. , 2012. 421f. PhD Dissertation - Dept. of Architecture, University of California, Berkeley, 2012.

LANDIM, G. D. R. **Programação para Arquitetura: linguagens visuais e textuais em Projeto Orientado ao Desempenho**. 2019. 163f.: Dissertação (Mestrado) - programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

LAVDAS, A. A.; SALINGAROS, N. A.; SUSSMAN, A. Visual Attention Software: A New Tool for Understanding the “Subliminal” Experience of the Built Environment. **Applied Sciences**, n. 11, 2021.

LEE, E. S. et al. **Technology Assessments of High Performance Envelope with Optimized Lighting, Solar Control, and Daylighting**. Lawrence Berkeley National Laboratory. [S.l.], p. 82. 2016. (LNBL-2001051). Leadership in Energy and Environmental Design

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED). **LEED v4 Reference Guide for Building Design and Construction**, v4, 2014.

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED). A New Standard in Facade Design. **Greenbuild 2020**, 2020. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/education/sessions/new-standard-facade-design-12847103>>. Acesso em: 27 set. 2022.

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED). **LEED v4.1 Building Design and Construction - Getting started guide for beta participants**, v4.1, 2022.

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED). **Consulta geral a homepage oficial**, 2023. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

LEHRER, D. Working outside the box: Making open offices work for everyone. **Seção Centreline - Site CBE**, 2017. Disponível em: <<https://cbe.berkeley.edu/centerline/working-outside-the-box-making-open-offices-work-for-everyone/>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

LEHRER, D.; VASUDEV, J. **Visualizing Energy Information in Commercial Buildings: A Study of Tools, Expert Users, and Building Occupants**. University of California: Center for the Built Environment (CBE). [S.l.], p. 38. 2011.

LI, C. Z. et al. Advances in the research of building energy saving. **Energy & Buildings**, n. 254, 2022.

LI, F. et al. Towards big data driven construction industry. **Journal of Industrial Information Integration**, 2023.

LI, H. et al. BIM-based object mapping using invariant signatures of AEC objects. **Automation in Construction**, n. 145, 2023.

LI, Q. et al. Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green. **Energy**, n. 237, 2021.

LI, X. et al. Venis: A designer-centric support tool for building performance design at early design stages. **Journal of Building Engineering**, n. 63, 2023.

LIN, M. et al. Multidomain Drivers of Occupant Comfort, Productivity, and Well-Being in Buildings: Insights from an Exploratory and Explanatory Analysis. **J. Manage. Eng.**, n. 37, 2021.

LOONEN, R. C. G. M. et al. Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. **Journal of Building Performance Simulation**, v.10, n.2, p.205-223, 2017.

LU, Y. et al. Multi-Objective Optimization of Building Environmental Performance: An Integrated Parametric Design Method Based on Machine Learning Approaches. **Energies**, 2022.

MACNAUGHTON, P. et al. Economic, Environmental and Health Implications of Enhanced Ventilation in Office Buildings. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 2015.

MALLASI, Z. Using parametric BIM integration for prototyping future responsive façades. **Journal of Facade Design & Engineering**, V.6, 2018.

MARCONDES, M. P. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo**. 2010. 244p.: Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MASHALY, I. A. et al. A daylight-oriented multi-objective optimisation of complex fenestration systems. **Building and Environment**, n. 197, 2021.

MASKURIY, R. et al. Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? **Applied Sciences**, 2019.

MATHEW, P. et al. **ComEd-LBNL 'Beyond Widgets' Project Automated Shading Integrated with Lighting and HVAC Controls: System Program Manual**. Lawrence Berkeley National Laboratory. [S.l.], p. 70. 2018. (LBNL-2001132).

MATHEW, P. et al. Assessing the Energy Resilience of Office Buildings: Development and Testing of a Simplified Metric for Real. **Buildings**, V.96, n.11, 2021.

MAUREIRA, C. et al. Towards an AEC-AI Industry Optimization: An Adaptive Methodology for Macroscopic Conceptual Analysis. **IEEEAccess**, V.9, 2021. p. 110842-110879.

MEIRELLES, I. **Design for Information: An Introduction to the Histories, Theories, and best Practices Behind Effective Information Visualizations**. Beverly, MA: Rockport Publishers, 2013.

MELLO, R. B. Do Projeto Paramétrico ao Projeto Generativo - Parte 1: O que é projeto generativo. **Mundo AEC - Blog Oficial sobre AEC da Autodesk Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundoaec/projeto-generativo-parte-1/>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

MEYERS-LEVY, J.; ZHU, R. J. The influence of Ceiling Height: the Effect of Priming on the Type of processing That People Use. **Journal of Consumer Research**, v.34, p.174-186, 2007.

MLODINOW, L. **Subliminar: Como o inconsciente influencia nossas vidas**. Rio de Janeiro: Zahar, 2012. Edição Brasileira: 2014.

MOGILNER, C.; AAKER, J. The Time versus Money Effect: Shifting Product Attitudes and Decisions through Personal Connection. **Journal of Consumer Research**, v. 36, 2009.

MORRISON, C. 1.200 Scientists and Professionals Declare: “There is No Climate Emergency”. **The Daily Sceptic**, 18 aug. 2022. Disponível em: <<https://dailysceptic.org/2022/08/18/1200-scientists-and-professionals-declare-there-is-no-climate-emergency/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

MUKHERJEE, A.; MUGA, H. An integrative framework for studying sustainable practices and its adoption in the AEC industry: A case study. **Journal of Engineering and Technology Management**, n. 27, 2010. p. 197-214.

NAVARRO, R. F. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos: REMAP**, v. 1, 2006. p. 01-11.

NGARAMBE, J. et al. A review on the current usage of machine learning tools for daylighting design and control. **Building and Environment**, n. 223, 2022.

O'CONNOR, J. E. A. **Tips for Daylighting With Windows: The Integrated Approach**. [S.l.]: University of California, 1997. 107 p.

OLIVEIRA, L. F. C. L. D. **Processo de design de visualização de dados: uso de representações gráficas de estrutura de dados como entidades intermediárias de projeto**. 2015.: Tese (Doutorado em Design e Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PANTAZIS, E.; GERBER, D. A framework for generating and evaluating façade designs using a multi-agente system approach. **International Journal of Architectural Computing**, v.16, n.4, p.248-270, 2018.

PATLAKAS, P. et al. Case Studies of Environmental Visualizatio. **Energies**, n. 10, 2017.

PBE EDIFICA. Etiqueta PBE Edifica - ENCE. **Site do PBE Edifica**, 2023. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso**. 2017. 263p.: Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PILGRIM, M. J. **The application os visualisation techniques to the process of building performance analysis**. 2003. 191 p.: Tese (Doutorado) - Centre for Innovative Construction Engineering: Department of Civil & Building Engineering:Loughborough University. Loughborough, 2003.

PILLI, L. E. **Julgamento e Decisão: Limites para a racionalidade do consumidor**. 2012. 175 f.: Dissertação de Mestrado - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PINHA, A. P. **Integração entre BIM e BPS: desafios na avaliação de desempenho ambiental na era do projeto e processos digitais**. 2017. 100 f.: Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PORRAS-SALAZAR, J. A. et al. Meta-analysis of 35 studies examining the effect of indoor temperature on office work performance. **Building and Environment**, n. 203, 2021.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Energy mix. **Consulta a homepage**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy-mix>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. High Performance Building: Performance by Design. **Rocky Mountain Institute (Youtube)**, jun. 2010. Disponível em: <<m/watch?v=hIX-J83lmal&list=PL968391ED27427B83&index=4>>. Acesso em: 06.10.2019>.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. Building Energy Modeling: Unlocking Market Potential. **Rocky Mountain Institute (Youtube)**, Abr. 2011. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=ZLowf67BzBE&list=PL968391ED27427B83&index=25>>
. Acesso em: 06.10.2019>.

SADEGHI, S. A. et al. Bayesian classification and inference of occupant visual preferences in daylight perimeter private offices. **Energy & Buildings**, n. 166, 2018.

SADIKIN, N.; TURAN, I.; CHEGUT, A. The Financial Impact of Healthy Buildings: Rental Prices and Market Dynamics in Commercial Office. **MIT Center For Real State: The Real state Innovation Lab** , 2020.

SÁNCHEZ-GARRIDO, A. J. et al. A systematic literature review on modern methods of construction in building: An integrated approach using machine learning. **Journal of Building Engineering** , Journal of Building Engineering.

SCHAUMANN, D. et al. Simulating multi-agent narratives for pre-occupancy evaluation of architectural designs. **Automation in Construction**, 2019.

SCHERZ, M. et al. A hierarchical reference-based know-why model for design support of sustainable building envelopes. **Automation in Construction**, n. 139, 2022.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto**: Reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SCHOPENHAUER, A. **A arte de escrever**. Tradução de P SÜSSEKIND. Porto Alegre: L&PM Editores, (1851) 2021. Trecho do livro Parerga e Paralipomena, 1851.

SHAFEI, H. et al. Construction 4.0 Technologies and Decision-Making: A Systematic Review and Gap Analysis. **Buildings**, 2022.

SHAH, I. et al. Thermal transfer and temperature reductions from shading systems on opaque facades: Quantifying the impacts of influential factors. **Energy & Buildings**, n. 278, 2023.

SHARAG-ELDIN, A.; NAWARI, N. O. BIM in AEC Education. In: 2010 STSTRUCTURES CONGRESS - ASCE. **Proceedings.**, 2010. p. 1676-1688.

SHI, X.; YANG, W. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. **Automation in Construction**, n. 32, p.125-135, fev. 2013.

SIGNIFICADOS. **Consulta ao termo Cognição**, 2020. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/cognicao/>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SINAENCO. ISO 19650 e padrões para implementação do BIM. **Vídeo do youtube**, julho 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wEUvdMhydK4>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

SINGH, M. M.; DEB, C.; GEYER, P. Early-stage design support combining machine learning and building information modelling. **Automation in Construction**, n. 136, 2022.

SOLLEMA. ClimateStudio User Guide. **Visita à seção Learn, Documentation**, 2023. Disponível em: <<https://climatestudiodocs.com/docs/daylightCustom.html>>. Acesso em: 29 set. 2023.

SOUZA, C. B. D. Contrasting paradigms of the design thinking: The building thermal simulation tool user vs. the building designer. **Automation in Construction**, V. 22, p.112-122, out., 2012.

SRIVASTAV, A. et al. A review and comparison of data visualization techniques used in building design and in building simulation. In: ELEVENTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE. **Proceedings.**, Glasgow, 2009. p. 1972-1949.

STEVANOVIĆ, M. The Age of Clay: The Social Dynamics of House Destruction. **Journal of Anthropological Archaeology**, n. 16, 1997. p. 334-395.

STUMPFEGGER, J. et al. GPU accelerated scalable parallel coordinates plots. **Computers & Graphics**, n. 109, 2022.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for. **Automation in Construction**, 2009. p. 357–375. Disponível em: <www.el.sevier.com/locate/autcon>.

TABLEAU. Stephen Few on Data Visualization: 8 Core Principles. **Consulta ao Blog do Site do Tableau**, 2020. Disponível em: <<https://www.tableau.com/blog/stephen-few-data-visualization>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

TAMANINI JR, T. **Modelagem paramétrica para análise termoenergética de edificações nas fases iniciais de projeto**. 2019. 180 f.: Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo, 2019.

TARTARINI, F. et al. **CBE Thermal Comfort Tool for thermal comfort calculations and visualizations. SoftwareX 12.100563. Version: 2.5.3.** [S.l.]: CBE - Center for the Built Environment, 2020. Disponível em: <<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 03 out. 2023.

TAVERES-CACHAT, E. et al. Ten questions concerning co-simulation for performance prediction of advanced building envelopes. **Building and Environment**, n. 191, 2021.

THALER, R. H. Mental Accounting Matters. **Journal of Behavioral Decision Making**, 12, Setembro 1999. 183-206.

THALER, R. H.; SUNSTEIN, C. R. **Nudge: como tomar melhores decisões sobre saúde, dinheiro e felicidade**. Rio de Janeiro: Editora Schwarcz S.A., 2019.

TUFTE, E. **The Visual Display of Quantitative Information**. Cheshire, CT: Graphics Press LLC, 2001.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Application Guide for EMS. **EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation**, 2019a.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Input Output Reference. **EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation**, 2019b.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Engineering Reference. **Energy Plus Version 9.1.0 Documentation**, 2019c.

UDDIN, M. N. et al. Influence of interior layouts on occupant energy-saving behaviour in buildings: An integrated approach using Agent-Based Modelling, System Dynamics and Building Information Modelling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 161, 2022.

UN, U. N. Sustainable Development Goals: The Sustainable development Agenda - 17 Goals for People, for Planet (2030 Agenda). **Consulta a homepage oficial**, 2023. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus, 2001.

VIERLINGER, R. **Multi Objective Design Interface**. 2013. 89f.: Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Tecnologia de Viena, Viena, 2013.

VINODH, S. et al. Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research. **Emerald Insight**, 2022.

VOORDT, T. V. D.; WEGEN, H. V. Evaluating: Ex post evaluation of buildings. In: JONG, T. M. D.; VOORDT, D. J. M. V. D. **Ways to Study and Research: Urban, Architectural and Technical Design**. Delft: Delft University Press, 2002. p. 151-158.

WALTNER, M.; AIJAZI, A. **Designing for the future: ate today's building codes locking in the wrong strategies by using past climate data?** In: ACEEE 2018 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Proceedings. 5-1. [S.l.]: [s.n.]. 2018. p. 5-13.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology. **Consulta a homepage: Industry Agenda**, 04 mai. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). Davos Manifesto 2020: The Universal Purpose of a Company in the Fourth Industrial Revolution. **Consulta a homepage**, 02 dec. 2019a. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2019/12/davos-manifesto-2020-the-universal-purpose-of-a-company-in-the-fourth-industrial-revolution/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). Davos Manifesto 1973: A Code of Ethics for Business Leaders. **Consulta a homepage**, 02 dec. 2019b. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2019/12/davos-manifesto-1973-a-code-of-ethics-for-business-leaders/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). Why we need the 'Davos Manifesto' for a better kind of capitalism. **Consulta a homepage**, 2019c, fev. dec. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2019/12/why-we-need-the-davos-manifesto-for-better-kind-of-capitalism/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

WIERZBICKI, M.; DE SILVA, C. W.; KRUG, D. H. BIM - History and Trends. In: CONVR2011, INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION APPLICATIONS OF VIRTUAL REALITY. **Proceedings.**, 2011.

WIKIPÉDIA. **Consulta a homepage**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Design_generativo>. Acesso em: 28 jan. 2020.

WIKIPÉDIA. **Consulta a homepage**, 2020b. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D>. Acesso em: 28 jan. 2020.

YAN, H.; YAN, K.; JI, G. Optimization and prediction in the early design stage of office buildings using genetic and XGBoost algorithms. **Building and Environment**, n. 2018, 2022.

YAO, J. Determining the energy performance of manually controlled solar shades: A stochastic model based co-simulation analysis. **Applied Energy**, v. 127, p. 64-80, ago. 2014.

YAP, J. B. H.; LEE, K. P. H.; WANG, C. Safety enablers using emerging technologies in construction projects: empirical study in Malaysia. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2021.

YING, H.; LEE, S. A rule-based system to automatically validate IFC second-level space boundaries for building energy analysis. **Automation in Construction**, n. 127, 2021.

YING, H.; LEE, S. Generating second-level space boundaries from large-scale IFC-compliant building information models using multiple geometry representations. **Automation in Construction**, n. 126, 2021b.

ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. 6a. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2017.

ZONG, C. et al. Decision-making under uncertainty in the early phase of building façade. **Building and Environment**, n. 226, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Referência de algoritmo de controle de persianas

Este Apêndice apresenta a descrição do algoritmo de controle de persianas de referência adotado para o estudo de Cacciatori e Valdívia (2019). Este algoritmo é baseado no sistema Animeo da Somfy. Uma programação em linguagem interna do EnergyPlus foi desenvolvida para criar o controle customizado desenvolvido para simulação adotado no estudo em referência. Toda a programação e cálculos adotados foram descritos no estudo, que também contou com a disponibilização de um arquivo de exemplo “.idf”. Segue abaixo a descrição do algoritmo.

O fluxograma apresentado no **Infográfico 1** apresenta o algoritmo do sistema de controle de referência, e as ilustrações trazem suporte para identificação dos dados de entrada e calculados do algoritmo. A seguir, um breve descritivo do algoritmo.

São definidos pelo usuário e inseridos na interface do sistema:

- Limites de iluminância na fachada - superior e inferior;
- Profundidade limite de incidência de radiação solar direta no piso interno (B);
- Altura da verga superior da janela (A);
- Tempo de atraso para movimentação da persiana (Delay On/Off);
- Deslocamento percentual mínimo da persiana e a posição percentual máxima em relação à “A”.

O sistema faz a leitura de H – iluminância total (direta+ difusa) na fachada, em lux, por meio de sensores para cada fachada e calcula a posição solar, ao longo do dia, com base na carta solar, que incorpora os dados de entrada: (G) – localização geográfica do edifício; (F) - Azimute da Fachada e (I) – Direção do sol, relativa ao azimute da fachada.

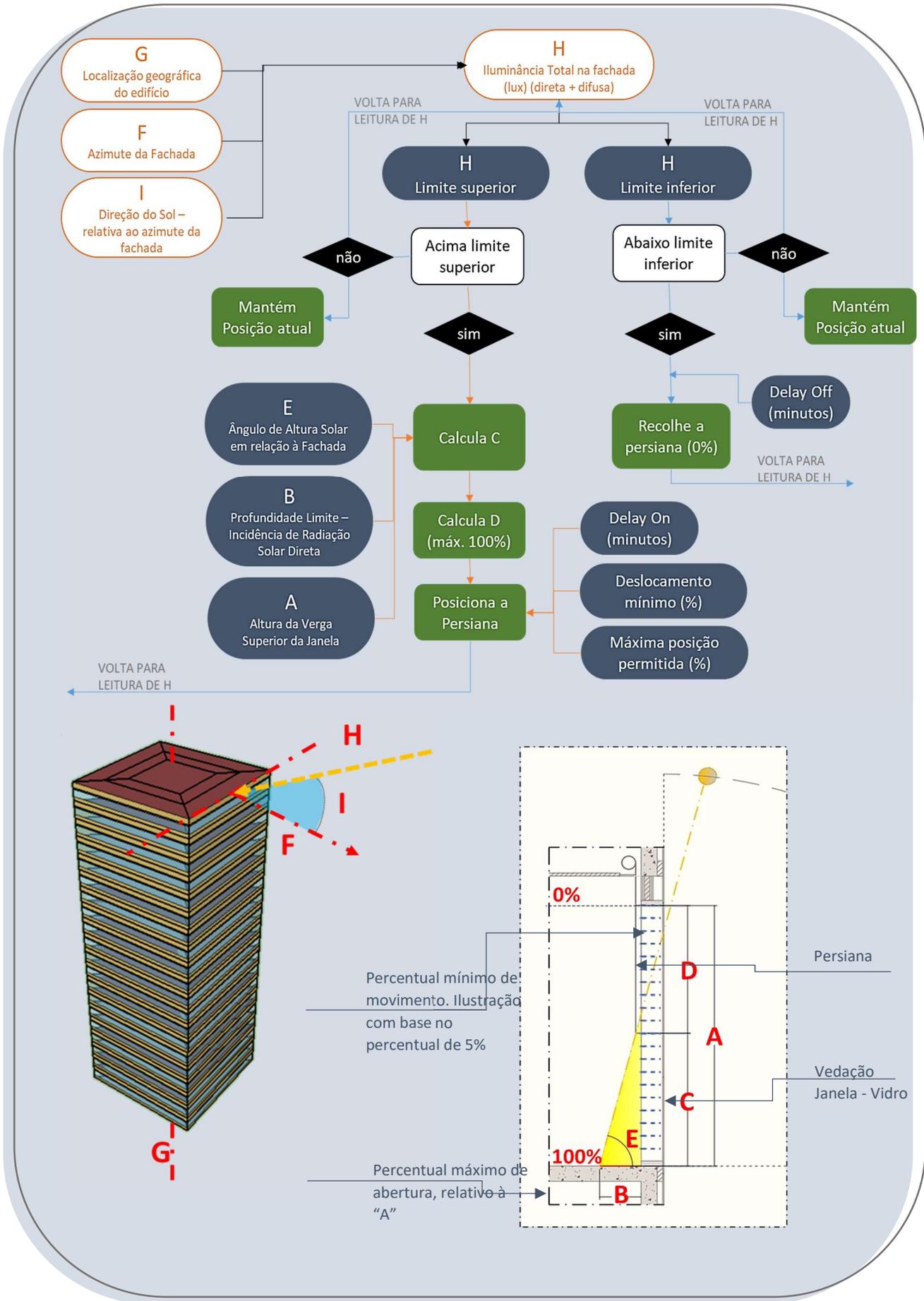
Se $H >$ limite superior, o sistema é acionado. A próxima etapa é o cálculo de “C”, que é a porção limite da janela que poderá ficar sem a proteção da persiana, em função da profundidade “B”, e do ângulo “E” – altura solar relativa à fachada. A altura “D” a ser protegida para garantir “B” é então calculada, a partir da subtração “A” – “C”.

Transcorrido o tempo para acionamento – *Delay On*, a persiana iniciará o movimento para atingir a posição calculada “D”, com uma movimentação mínima percentual definida, sem superar a posição máxima, que pode ser de até 100%, relativo à altura “A”.

Se $H < \text{limite inferior}$, o controle recolhe toda a persiana, até o ponto 0%, transcorrido o tempo de atraso definido por *Delay Off*.

Não satisfazendo as condições de operação $H > \text{limite superior}$, ou $H < \text{limite inferior}$, a persiana é mantida na posição do momento da leitura, e será movimentada novamente quando for satisfeita alguma destas condições. Nos programas desenvolvidos para simular este algoritmo em EnergyPlus, foi criada uma entrada correspondente a cada entrada do sistema de referência descrito acima.

Infográfico 1 – Algoritmo do Sistema de Controle de Persianas de Referência: Fluxograma e Ilustrações

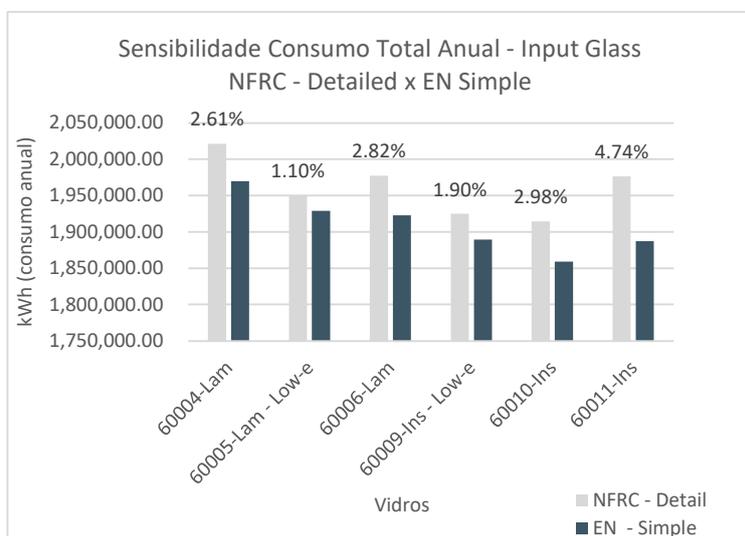


APÊNDICE II – Modelagem de vidros para simulação termo-energética

Este Apêndice apresenta a descrição do estudo compacto sobre entrada de dados (*Input*) de vidros, realizado no âmbito do trabalho desenvolvido por Cacciatori e Valdívia (2019). Foram comparados os impactos nos resultados simulados de consumo a partir das seguintes variações nas entradas de dados de vidros no software EnergyPlus:

- Frequentemente adotado em simulações realizadas para avaliação de eficiência energética: Método Simplificado – Objeto *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem* - com Cálculo de Propriedades Térmicas pela EN 410²³ e EN 673²⁴
- Recomendado pelo *InputOutput Reference* do *EnergyPlus* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019b): Método Detalhado - Objeto *WindowMaterial:Glazing* - com Cálculo de Propriedades Térmicas pelas Normas da NFRC²⁵;

Gráfico 1 – Entrada de dados de vidros: NFRC-Detalhado Vs. EN Simples



O **Gráfico 1** demonstra variações significativas em consumo total devido a variação do método de *Input* de dados para os seis vidros do estudo em referência. O documento do EnergyPlus, *Input Output Reference*, recomenda a inserção de dados pelo método detalhado e pela NFRC e apresenta ressalvas quanto à utilização do método simplificado. Para esta

tese foram adotadas as recomendações de *input* do software.

²³ European Standard - EN 410:2011 - Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing

²⁴ European Standard - EN 673:2011 - Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Calculation method

²⁵ National Fenestration Rating Council (NFRC) – Conselho Norte-Americano que desenvolve pesquisas e regulamenta temas relacionados ao desempenho de janelas.

ANEXOS

ANEXO A - Controle de persianas disponíveis no software EnergyPlus

Neste estudo foi adotado o controle do EnergyPlus “**OnIfHighSolarOnWindow**”, uma vez que este é o único controle que utiliza dados de cada fachada do edifício. Abaixo segue relação completa dos tipos de controle disponíveis no EnergyPlus, descritos na documentação do software: *Input/Output Reference* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019b).

AlwaysOff: Mantem as persianas sempre abertas, ou seja, sempre recolhidas.

AlwaysOn: Mantem as persianas sempre fechadas, ou seja, sempre abaixadas e sobrepostas ao vidro.

OnIfScheduleAllows: Mantem as persianas acionadas sempre que a programação horaria permitir.

OnIfHighSolarOnWindow: Aciona as persianas apenas quando a radiação solar direta mais a radiação solar difusa na fachada é superior ao setpoint (W/m²) definido pelo usuário.

OnIfHighHorizontalSolar: Aciona as persianas apenas quando a radiação solar direta mais a radiação solar difusa, incidentes no plano horizontal, é superior ao setpoint (W/m²) definido pelo usuário. Por ser no plano horizontal todas as fachadas são acionadas ao mesmo tempo.

OnIfHighOutdoorAirTemperature: Aciona as persianas apenas quando a temperatura externa é superior a temperatura de setpoint (°C) definida pelo usuário.

OnIfHighZoneAirTemperature: Aciona as persianas apenas quando a temperatura interna da zona é superior a temperatura de setpoint (°C) definida pelo usuário.

OnIfHighZoneCooling: Aciona as persianas apenas quando potência de resfriamento da zona no timestep anterior é superior a potência de setpoint (W) definida pelo usuário.

OnIfHighGlare: Aciona as persianas apenas quando o Índice de Desconforto por Ofuscamento (DGI) no 1º sensor de *daylighting* da zona é superior ao Índice de Desconforto por

Ofuscamento (DGI) do setpoint definido pelo usuário. Aplicável apenas em zonas que possuem controle de *Daylighting*.

Os controles abaixo não podem ser aplicados ao modelo em questão ou são a sobreposição de duas ou mais variáveis de acionamento.

MeetDaylightIlluminanceSetpoint: Aplicável apenas em vidros que alteram as suas propriedades (Vidros Termocrômicos). Este tipo ajusta a propriedade do vidro para que a iluminância medida no sensor de luz natural interno seja mantida fixa no setpoint definido pelo usuário.

OnNightIfLowOutdoorTempAndOffDay, OnNightIfLowInsideTempAndOffDay e OnNightIfHeatingAndOffDay: Os três controles buscam reduzir o consumo de aquecimento ao acionarem as persianas durante a noite, para controle das trocas de calor interno/externo.

OnNightIfLowOutdoorTempAndOnDayIfCooling e OnNightIfHeatingAndOnDayIfCooling: Os dois controles buscam reduzir as demandas de aquecimento ou de resfriamento. Acionam as persianas durante a noite se houver aquecimento e acionam as persianas durante o dia se houver resfriamento.

OffNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow: Abre as persianas durante a noite e fecha as persianas durante o dia, se o sistema de resfriamento estiver operando e se a radiação solar incidente na fachada for superior ao valor definido pelo usuário. Sobreposição do controle **OnIfHighSolarOnWindow** com a condição de resfriamento ativa e/ou operando.

OnNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow: Igual ao controle anterior, mas aciona as persianas à noite.

OnIfHighOutdoorAirTempAndHighSolarOnWindow: Sobreposição de **OnIfHighOutdoorAirTemperature** e **OnIfHighSolarOnWindow**.

OnIfHighOutdoorAirTempAndHighHorizontalSolar: Sobreposição de **OnIfHighOutdoorAirTemperature** e **OnIfHighHorizontalSolar**.

ANEXO B – Cálculo do parâmetro do setpoint de acionamento das persianas utilizando o controle OnIfHighSolarOnWindow

Para definição do setpoint de acionamento das persianas utilizando o controle nativo do EnergyPlus - OnIfHighSolarOnWindow - foi definida uma relação entre o setpoint de Iluminância Superior que aciona as persianas pelo algoritmo de operação do sistema de referência estudado por Cacciatori e Valdívía (2019). Este processo de definição de setpoint foi adotado no estudo realizado em 2021, que deu continuidade à série sobre Persianas Automatizadas (CACCIATORI e VALDIVIA, 2021)

O setpoint foi definido pela relação entre os níveis de iluminância e intensidade de radiação solar disponíveis no arquivo climático. Estas variáveis são saídas do EnergyPlus selecionadas em *Output:Variable*.

Para obter o nível de iluminância devem ser selecionadas duas variáveis de saída: o nível de iluminância direta e indireta, que são disponibilizadas em “lux”:

iluminância direta: ***Site Exterior Beam Normal Illuminance***

iluminância indireta: ***Site Exterior Horizontal Sky Illuminance***

Para obter o nível de intensidade de radiação solar relativo, devem ser selecionadas duas variáveis de saída: o nível de intensidade de radiação solar direta e indireta, que são disponibilizados em “W/m²”:

Radiação solar direta: ***Site Direct Solar Radiation Rate per Area***

Radiação solar indireta: ***Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area***

Identifica-se a relação entre as duas variáveis ($R_{\text{horário}}$) com a divisão da radiação solar total pela iluminância total, utilizando a seguinte equação:

$$R_{\text{horário}} = \frac{\text{Radiação solar direta} + \text{Radiação solar indireta}}{\text{Iluminância direta} + \text{Iluminância indireta}}$$

Esta relação foi calculada para cada saída horária e posteriormente calcula-se a média anual (R):

$$R = \text{Media} (R_{\text{hoário}})$$

O parâmetro calculado, adotado no controle do **OnIfHighSolarOnWindow** - $\text{Setpoint}_{\text{acionamento}}$ — é o limite de iluminância superior para acionamento das persianas — $\text{Setpoint}_{\text{lux}}$ - em lux considerado para o algoritmo de referência, multiplicado pela relação (R).

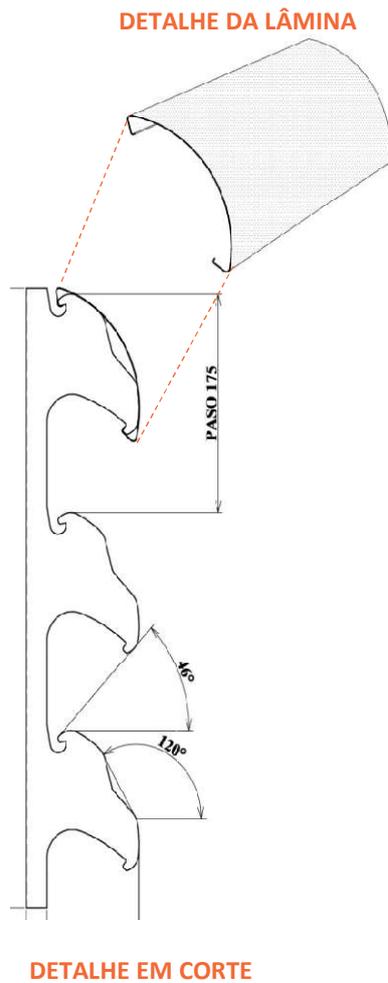
$$\text{Setpoint}_{\text{acionamento}} = \text{Setpoint}_{\text{lux}} * R$$

O limite de acionamento superior das persianas definido foi de 15000 lux. Assim, o setpoint de acionamento das persianas no controle do **OnIfHighSolarOnWindow** será dado por:

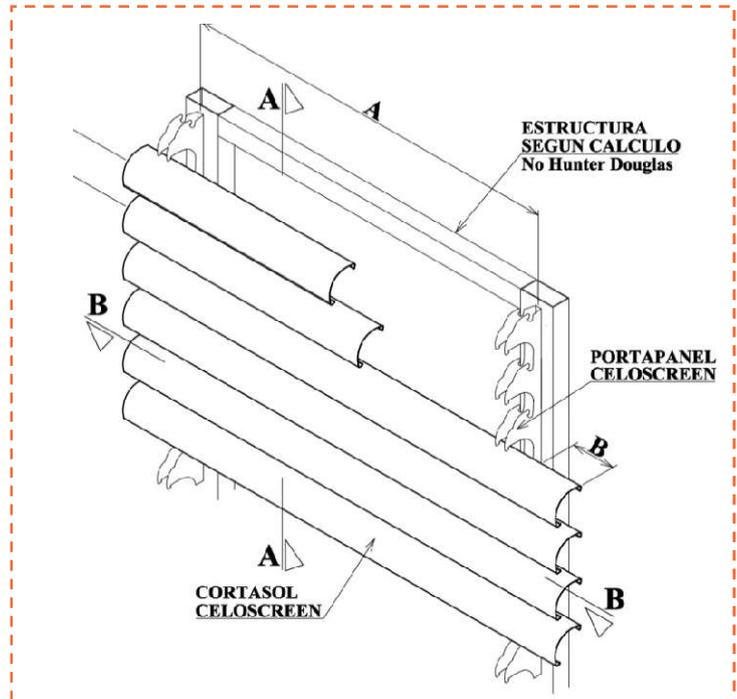
$$\text{Setpoint}_{\text{acionamento}} = 15000 * R$$

O *setpoint* de acionamento de persianas calculado para o arquivo climático deste estudo é de 141 W/m².

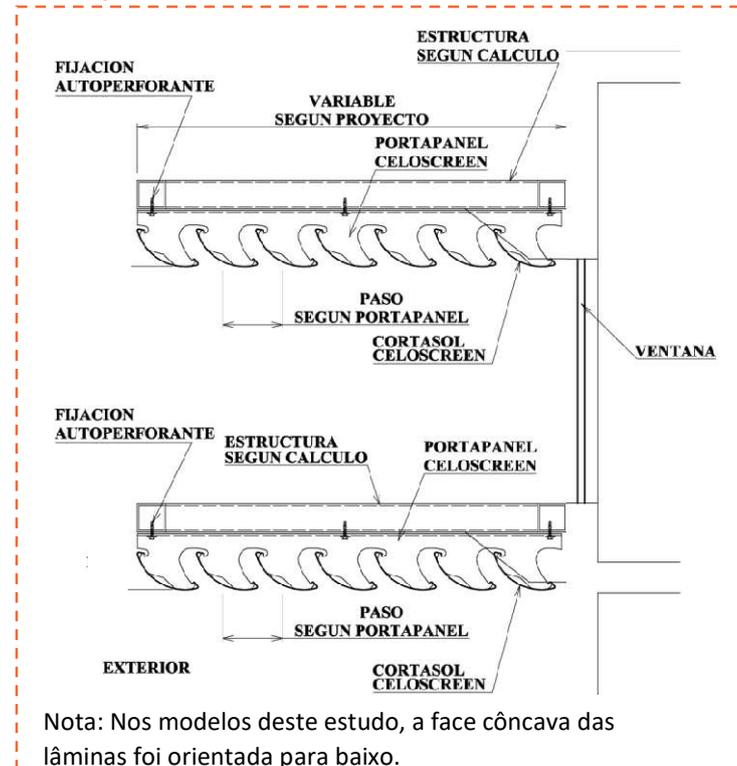
ANEXO C - Detalhe de protetor solar externo Celoscreen - Hunter Douglas



APLICAÇÃO VERTICAL PADRÃO



APLICAÇÃO HORIZONTAL PADRÃO



ANEXO D – Breve descrição de sistemas de certificação de edifícios

Este anexo apresenta uma breve descrição de algumas certificações de edifícios citadas na Tese.

LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*):

- ✓ LEED é uma certificação internacional que avalia o desempenho ambiental e sustentável de edifícios.
- ✓ Foco em eficiência energética, uso de materiais sustentáveis, qualidade do ar interior e práticas de construção verde.
- ✓ Categorias de certificação incluem edifícios comerciais, residenciais, escolas e outros tipos de construção.

WELL *Building Standard*:

- ✓ WELL é uma certificação que se concentra no bem-estar e na saúde dos ocupantes dos edifícios.
- ✓ Aborda aspectos como qualidade do ar, água potável, nutrição, iluminação, atividade física e conforto emocional.
- ✓ Projetado para criar ambientes internos saudáveis e promover um estilo de vida equilibrado.

Fitwell:

- ✓ Fitwell é um sistema de classificação que promove edifícios mais saudáveis e produtivos.
- ✓ Avalia fatores como a acessibilidade de escadas, promoção da atividade física, oferta de alimentos saudáveis e políticas de bem-estar no local de trabalho.
- ✓ Projetado para melhorar o ambiente de trabalho e incentivar escolhas de estilo de vida mais saudáveis.

AQUA-HQE:

- ✓ AQUA-HQE é um sistema de certificação focado na sustentabilidade ambiental de edifícios na França.
- ✓ Avalia desempenho energético, gestão da água, qualidade do ar interior e outros critérios ambientais.
- ✓ Projetado para promover construções mais ecológicas e eficientes.

ENCE PBE Edifica:

- ✓ ENCE PBE Edifica é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) emitida para edifícios que passaram pelo processo de certificação com foco em eficiência energética e faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e foi desenvolvida em parceria entre o Inmetro e a Eletrobras/PROCEL Edifica.

Em linhas gerais, as certificações visam melhorar a qualidade de vida dos ocupantes, promover a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental dos edifícios, abordando vários aspectos, desde a eficiência energética até a saúde e o bem-estar das pessoas. Cada certificação tem seu foco específico e critérios de avaliação.