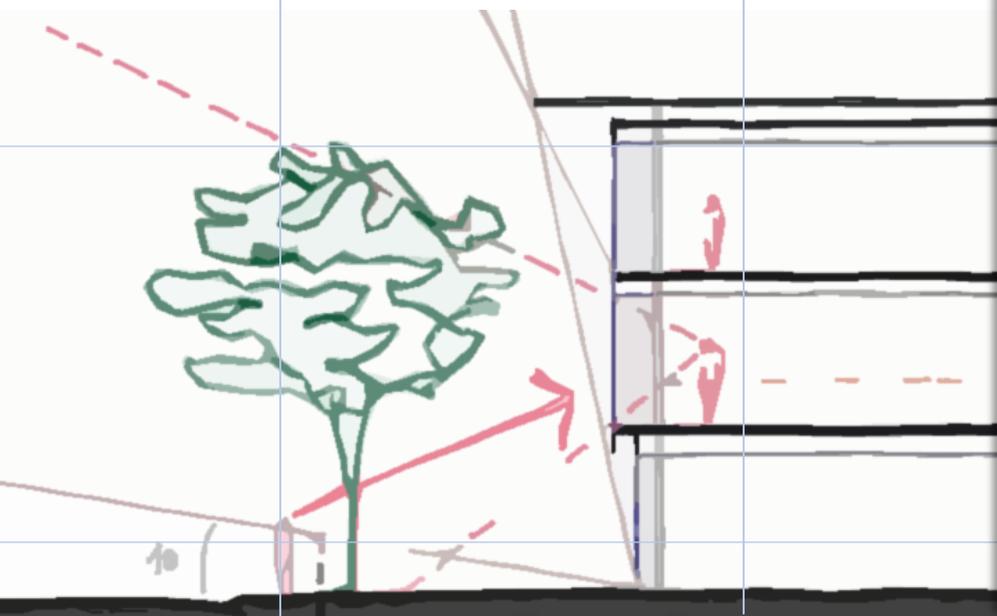


Universidade Federal do Rio de Janeiro
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

A ANÁLISE AMBIENTAL EM DIÁLOGO COM A FERRAMENTA BIM

Aline Calazans Marques



Rio de Janeiro
2017

Universidade Federal do Rio de Janeiro

A ANÁLISE AMBIENTAL EM DIÁLOGO COM A FERRAMENTA BIM

Aline Calazans Marques

2017



A ANÁLISE AMBIENTAL EM DIÁLOGO COM A FERRAMENTA BIM

Aline Calazans Marques

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Arquitetura, Projeto e Sustentabilidade.

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Coorientador: Luc Adolphe

Rio de Janeiro
Março, 2017

CIP - Catalogação na Publicação

1.M357a 2. Marques, Aline Calazans
3. A Análise Ambiental em Diálogo com a Ferramenta BIM / Aline Calazans Marques. -- Rio de Janeiro, 2017.
4. 126 f.
5. Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos.
6. Coorientador: Luc Adolphe. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2017.
7. 1. Análise Ambiental. 2. Building Information Modeling - BIM. 3. Tomada de Decisão. I. Bastos,
8. Leopoldo Eurico Gonçalves , orient. II. Adolphe, Luc , coorient. III. Título.

A ANÁLISE AMBIENTAL EM DIÁLOGO COM A FERRAMENTA BIM

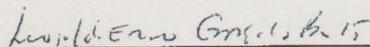
Aline Calazans Marques

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

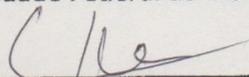
Coorientador: Luc Adolphe

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Arquitetura, Projeto e Sustentabilidade.

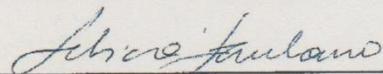
Aprovada por:



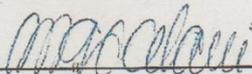
Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, D. Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



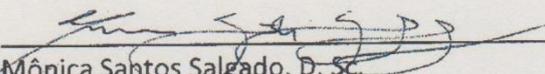
Luc Adolphe, D. Sc.
Institut National des Sciences Appliquées Toulouse (INSA Toulouse)



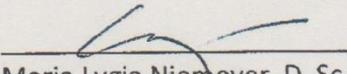
Letícia Maria de Araújo Zambrano, D. Sc.
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)



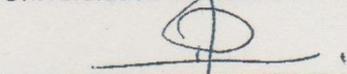
Maria Gabriela Caffarena Celani, D. Sc.
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)



Mônica Santos Salgado, D. Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



Maria Lygia Niemeyer, D. Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



Pierre Georges Joseph Fernandez, D.Sc.
École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse (ENSA Toulouse)

Rio de Janeiro

Março, 2017

DEDICATÓRIA

A todos que me apoiaram e compartilharam dos momentos de construção dessas ideias.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Leopoldo Bastos, pela serenidade e seriedade no papel de interlocutor e, em especial, pelos momentos e conhecimentos compartilhados essenciais à maturação das ideias desta tese;

Ao Luc Adolphe pelo apoio e acolhida desde as primeiras reuniões no PROARQ, durante o período do estágio doutoral em Toulouse e nas etapas finais até a defesa;

Ao Frédéric Bonneaud pela acolhida e conhecimentos compartilhados durante o estágio doutoral no Laboratoire de Recherche en Architecture – LRA, Toulouse;

À Letícia Zambrano, por ter feito dessa, uma experiência possível, capaz de enriquecer a minha vida profissional e, principalmente, pessoal;

À professora Cláudia Krause por me incentivar e acreditar que eu seria capaz;

À professora Alice Brasileiro pela colaboração no momento da qualificação;

Aos professores que compõem a banca de avaliação desta tese, pela disponibilidade e colaboração com diferentes pontos de vista, resultando no enriquecimento do diálogo sobre o tema;

À professora Mônica Salgado pelos conselhos e incentivos desde o início desse desafio;

A francesa / brasileira Catherine Reginensi, pelo carinho, apoio e acolhida desde minha chegada em Toulouse;

A brasileira / francesa, Sandra Marques pela acolhida, amizade e conhecimentos compartilhados;

À equipe do PROARQ, pela parceria que vai além de todo o apoio logístico;

À equipe do LRA, funcionários, professores e pesquisadores pelos momentos e experiências compartilhados;

À CAPES pela bolsa de estudos através do programa de cooperação CAPES/COFECUB;

Aos colegas doutorandos Henrique e André, pela parceria e pelo aprendizado a cada experiência vivenciada desde os estudos da língua francesa em Vichy até hoje, mesmo à distância;

Ao Bernard Lecussan coordenador do Grupo Raycreatis - Raytracing Software Solutions, responsável pelo desenvolvimento do software Archiwizard, pelas informações e versões do software disponibilizadas para o estudo;

Ao escritório INSITE ARQUITETOS, especialmente, à Frederico Paione e Marcela Fallavena, pela disponibilização do projeto SICOOB – objeto deste estudo – e pela confiança no trabalho desenvolvido a partir dele neste período doutoral;

Aos queridos Adilson Amaral e Leonardo Sanches pela parceria no processo de aprendizagem de diferentes recursos digitais de representação e auxílio à concepção;

Aos terços, Renata e Aline, por se fazerem partes importantes de um todo, compartilhando com respeito e amizade dos momentos da minha formação;

À família, por ser sempre, a base e o apoio em qualquer adversidade, compartilhando das conquistas e dos desafios;

À Lu, pela energia e pelo incentivo de cada dia, por me entender e me escutar pacientemente, com carinho e liberdade, sempre, incondicional;

Especialmente, a meus pais, simplesmente por serem quem são e me ajudarem a ser quem sou;

A meus irmãos, pela parceria, disponibilidade, carinho e presença, sempre;

E, por fim, à Manu, amor e energia pura no olhar e no abraço de uma criança de quatro anos.

RESUMO

MARQUES, Aline Calazans. **A Análise Ambiental em Diálogo com a Ferramenta BIM**. Tese (Doutorado em Ciência da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O presente trabalho aborda a dinâmica da análise ambiental quando integrada ao sistema *Building Information Modeling* (BIM) e propõe a investigação das estratégias de tomada de decisão imersas neste ambiente durante as fases de concepção do projeto arquitetônico. O interesse pelo trabalho surge da convergência entre os temas: (i) ferramentas de análise ambiental; (ii) BIM; e (iii) tomada de decisão frente à integração destas ferramentas ao ambiente BIM no processo de projeto. Reconhece-se um processo crescente de integração das ferramentas digitais de análise ambiental ao sistema BIM, como resultado da modelagem tridimensional, do potencial de parametrização entre geometria/informação e da interoperabilidade entre softwares e agentes. Diante deste panorama, surge uma questão de partida: como tratar, com enfoque multidisciplinar, a conformação dos elementos de construção – no ambiente digital – de modo a possibilitar um adequado desempenho ambiental do objeto arquitetônico? Acredita-se na hipótese de que a ferramenta BIM, através da parametrização e da modelagem tridimensional, pode favorecer a relação entre a análise ambiental e a concepção arquitetônica, ao criar condições adequadas para a abordagem multicritério em auxílio às decisões projetuais. A estratégia metodológica baseou-se, primeiramente, na investigação de fundamentos teóricos sobre o BIM e das ferramentas integradas a este sistema, tratando, em específico, das ferramentas de análise ambiental e da tomada de decisão na era digital. Em sequência, como estratégia de experimentação, propõe-se a investigação e o ensaio decompositivo de um projeto modelado em ferramenta BIM, viabilizando o estudo da dinâmica das estratégias cognitivas de tomada de decisão resultantes da adoção destas ferramentas de análise nas etapas de concepção arquitetônica orientada ao desempenho ambiental. O método de decomposição proposto toma por base os níveis de desenvolvimento do BIM adotados pela organização *BuildingSMART* e pelo *The American Institute of Architects* (AIA). Os resultados concentram-se nas questões de tomada de decisão diante da complexidade das variáveis da análise ambiental, demonstrando a relação entre geometria e informação frente à capacidade de modelagem, parametrização e interoperabilidade do sistema BIM.

Palavras-chave: Análise Ambiental; *Building Information Modeling* – BIM; Tomada de Decisão.

Rio de Janeiro

Março, 2017

RÉSUMÉ

MARQUES, Aline Calazans. **L'Analyse Environnementale en Dialogue avec l'Outil BIM**. These (Doctorat en Architecture). Faculté d'Architecture et Urbanisme, Université Fédérale de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Ce document traite de la dynamique de l'analyse environnementale lorsqu'elle s'intègre avec le système Building Information Modeling (BIM) et propose d'étudier les stratégies de prise de décision immergées dans cet environnement pendant les phases de conception du projet architectural. L'intérêt pour le travail vient de la convergence des sujets: (i) des outils d'analyse de l'environnement; (ii) BIM; et (iii) prise de décision face à l'intégration de ces outils avec l'environnement BIM dans le processus de conception de projet. Nous reconnaissons un processus croissant d'intégration de ces outils numériques d'analyse de l'environnement avec le système BIM, comme résultat de la modélisation en trois dimensions, du potentiel de paramétrisation entre géométrie / informations et l'interopérabilité entre les logiciels et les agents. En prenant en compte ce panorama, se pose une question fondamentale: comment faire face, avec l'approche multidisciplinaire, la conformation des éléments de construction – dans l'environnement numérique – afin de permettre à la performance environnementale appropriée de l'objet architectural? On croit l'hypothèse que l'outil de BIM, par la paramétrisation et la modélisation en trois dimensions, peut favoriser la relation entre l'analyse environnementale et la conception architecturale, lorsque que crée des conditions appropriées à l'approche multi-critères et permet le développement de haute performance des bâtiments durables à la suite de ce processus. La stratégie méthodologique repose principalement sur la recherche des fondements théoriques de BIM et des outils intégrés dans ce système, traitant en particulier, les outils d'analyse de l'environnement. Dans l'ordre, comme stratégie expérimentale, nous visons à la recherche et d'essai de décomposition d'un projet modélisé dans l'outil BIM, ce qui permet l'étude de la dynamique des stratégies cognitives pour la prise de décision résultantes de l'adoption de ces outils d'analyse dans les étapes de conception architecturale orientées à la performance environnementale. La méthode de décomposition proposée est basée les niveaux de développement du BIM adoptées par l'organisation *BuildingSMART* et par *The American Institute of Architects (AIA)*. Les résultats se concentrent sur les questions de prise de décision devant la complexité des variables de l'analyse environnementale, en montrant la relation entre géométrie et information face à la capacité de modélisation, à la paramétrisation et à l'interopérabilité du système BIM.

Mots-clés: Analyse Environnementale; Building Information Modeling – BIM; Prise de Décision.

Rio de Janeiro

Mars, 2017

ABSTRACT

MARQUES, Aline Calazans. **The Environmental Analysis in Dialogue with BIM Tools**. Thesis (Doctorate in Architecture). Architecture and Urbanisme School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The present work deals with the dynamics of environmental analysis when integrated with the Building Information Modeling (BIM) system and proposes the investigation of the decision-making strategies immersed in this environment during the design phases of the architectural project. The interest for the work arises from the convergence between the themes: (i) environmental analysis tools; (ii) BIM; and (iii) decision making regarding the integration of these tools into the BIM environment in the design process. A growing process of integrating digital environmental analysis tools into the BIM system is recognized as a result of three-dimensional modelling, the potential of parameterization between geometry / information and interoperability between software and agents. From these assumptions, a basic question arises: how to deal, with a multidisciplinary approach, the conformation of the building elements – in the digital environment – so as to enable an adequate environmental performance of the architectural object? One believes that the BIM tool, through parameterization and three-dimensional modeling, can favor the relationship between environmental analysis and architectural design, by creating adequate conditions for the multicriteria approach and enabling the development of sustainable high-performance buildings by virtue of this process. The methodological strategy was based firstly on the investigation of theoretical review on BIM and the tools integrated to this system, dealing specifically with the tools of environmental analysis. As a research strategy, one proposes the research and a decompositional essay on a BIM tool-based model, enabling the study of the dynamics of the cognitive decision-making strategies resulting from the adoption of these analysis tools in the stages of architectural conception oriented to environmental performance. The proposed decompositional method is based on the BIM development levels adopted by the BuildingSMART organization and by The American Institute of Architects (AIA). The results focus on the decision-making issues facing the complexity of the environmental analysis variables, inferring the relationship between geometry and information regarding the modeling, parameterization and interoperability of the BIM system.

Key words: Environmental Analysis; Building Information Modeling – BIM; Decision-Making.

Rio de Janeiro

March, 2017

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Quebra-cabeça (imagem ilustrativa). Cada parte tem o seu determinado lugar e, por consequência, um papel na conformação do todo. Fonte: elaborado pela autora.	16
Figura 2 : Diagrama de síntese da proposta para pesquisa de tese. Fonte: elaborado pela autora.	18
Figura 3 : Diagrama - Estrutura dos capítulos. Fonte: elaborado pela autora.	21
Figura 4 : Diagrama - Estrutura da tese e conteúdo central dos capítulos. Fonte: elaborado pela autora.	22
Figura 5 : árvore do jogo de John von Neumann. Demonstração gráfica das possíveis opções resultantes da movimentação de uma peça. Fonte: Adaptado de Shenk (2007, p.210).	35
Figura 6 : árvore de representação das vias da cidade brasileira planejada por Lucio Costa - Brasília. Fonte: Adaptada de Alexander (1965).	35
Figura 7 : Síntese ilustrada dos elementos que, atualmente, determinam o sistema BIM. Fonte: Elaborado pela autora.	40
Figura 8 : Síntese do processo de projeto sustentável mediado pelo BIM. Fonte: Elaborado pela autora com colaboração de J. A. Petrillo (equipe de projeto - grafite sobre papel).....	42
Figura 9 : Mapa com destaque para os países que dispõem de Manuais ou Normativas relacionadas ao BIM seguido do ano de sua publicação. Fonte: Adaptação de AIA (2012), AsBEA (2013), AsBEA (2015) e ABNT (2015). Elaborado pelo Autor.	45
Figura 10 : Ícone do plug-in do AWZ na barra de tarefas do software Revit 2015/ Autodesk. Fonte: Acervo do autor.	50
Figura 11 : Projeto TriPOD - modelo de estudo no software Sketchup – geometria sem vãos. Fonte: Acervo do autor.	52
Figura 12 : modelo de estudo no software Archiwizard – geometria acrescida de vãos e componentes construtivos. Fonte: Acervo do autor.	52
Figura 13 : Prancha 01/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 14 : Prancha 02/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 15 : Prancha 02/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 16 : Prancha 04/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 17 : Prancha 05/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 18 : Prancha 06/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.	62
Figura 19 : Imagem extraída do software SketchUp v.2016 Modelo 3D da volumetria conforme partido projetual apresentado na prancha 01/06 para o Concurso SICOOB. Fonte: elaborado pela autora.	63
Figura 20 : Imagem extraída do software SketchUp. Modelo 3D da proposta do edifício para o Concurso SICOOB. Fonte: INSITE Arquitetos, adaptação da autora.	63
Figura 21 : Imagem extraída do software REVIT v. 2017 Modelo 3D do projeto em fase de executivo. Fonte: INSITE Arquitetos, adaptação da autora.	63
Figura 22 : Imagem extraída do software REVIT v. 2017 Cada elemento modelado apresenta uma especificação própria (ex.: cortina de vidro). Fonte: elaborado pela autora.	63
Figura 23 : Praça Dom Bosco, Araxá-MG. Fonte: Google Street View, ago/2015.	65
Figura 24 : Vista aérea da Praça Dom Bosco e quadras confrontantes – sem data. Fonte: http://ipdsa.org.br/menu/link/109/a-cidade	65
Figura 25 : imagem do terreno desocupado com a placa indicando a futura obra do projeto SICOOB. Fonte: Google Street View, set/2013.	66
Figura 26 : a imagem demonstra que o terreno permanece desocupado em 2015, inclusive, sem alteração na volumetria do entorno imediato. Fonte: Google Street View, ago/2015.....	66
Figura 27 : Entorno do terreno modelado a partir de referências visuais tomadas pelo Google Street View em registros de set/2013 e ago/2015. Fonte: elaborado pela autora.	66
Figura 28 : Classificação bioclimática da cidade Araxá, MG, com base no zoneamento previsto na NBR 15220. Fonte: RORIZ (2004).	70
Figura 29 : Carta bioclimática – Araxá, MG, Brasil. Fonte: Analysis-Bio/LABEEE/UFSC.....	70
Figura 30 : Diagrama de mapeamento das condicionantes do entorno. Fonte: elaborado pela autora.	76
Figura 31 : Croqui esquemático - corte transversal. Demarcação do perímetro volumétrico de projeto com divisão de pavimentos e relação de visadas do pedestre para o edifício e do indivíduo no segundo pavimento para o entorno. Fonte: elaborado pela autora.	77
Figura 32 : Radiação solar incidente no vidro. Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p. 124)	79
Figura 33 : Proteção solar interna ao vidro. Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p.134).....	80
Figura 34 : Proteção solar externa ao vidro. Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p.134).	80
Figura 35 : Carta solar estereográfica, latitude 19.59 SUL, Araxá-MG, Brasil. Fonte: Software Sol-Ar 6.2 (LABEEE/UFSC), adaptação da autora.....	81

<i>Figura 36 : Implantação esquemática. Sem escala. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 37: Corte esquemático longitudinal. Sem escala. Fonte: Elaborado pela autora.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 38 : Corte esquemático transversal. Sem escala. Fonte : elaborado pela autora.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 39 : Máscara de obstrução do entorno. Projeto SICOOB – Araxá, MG. Fonte: Elaborado pela autora.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 40 : Carta solar aplicada aos planos limítrofes do terreno, equivalente à orientação principal das fachadas do projeto SICOOB. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 41 : Carta solar com vetores para indicar a direção da incidência solar em um determinado horário em relação à fachada. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 42 : Maquete digital do objeto inserido no entorno em fase de estudo de massa modelada no software FormIt 360/ Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 43 : Maquete digital do objeto em fase de estudo de massa modelada no software FormIt 360/ Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 44 : Radiação anual acumulada (kWh / m²). Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 45 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: junho. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 46 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: março e setembro. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 47 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: dezembro. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 48 : Radiação (Wh/m²) – Junho. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 49 : Radiação (Wh/m²) – Março / Setembro. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 50 : Radiação (Wh/m²) – Dezembro. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 51 : Maquete digital simplificada elaborada no software FormIt 360. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 52 : Modelo analítico gerado automaticamente pelo software on-line Insight 360 acionado pelo FormIt 360. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 53 : Recorte de alguns quadros de parâmetros analisados simultaneamente pela plataforma Insight 360. Para uma determinada orientação, são analisados: as dimensões da abertura, os tipos de sombreamento da abertura e os tipos de vidro da esquadria. Fonte: Insight 360 / Autodesk.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 54 : relação da área de envidraçamento com a demanda de consumo energético – Insight 360 Autodesk. Fonte: Elaborado pela autora.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 55 : Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 95% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 56 : Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 80% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 57 : Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 65% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 58 : Maquete digital em fase de estudo de massa com definição dos níveis de piso modelada no software Revit 2017/ Autodesk. Elaborado pela autora.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 59 : Arquivo modelado no software SKETCHUP 2016 e exportado em formato *.ifc através da plataforma Trimble Connect. Na sequência, modelo *.ifc lido pelo software REVIT 2017. Fonte: Elaborado pela autora.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 60 : Zona de estudo da maquete digital - SICOOB - selecionada para simulação no software ArchiWIZARD / Graitec. Elaborado pela autora.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 61 : configurações de temperatura para o cenário de estudo no software ArchiWIZARD. Elaborado pela autora.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 62 : Maquete digital com árvores no software Archiwizard. Elaborado pela autora.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 63 : Maquete digital sem árvores no software Archiwizard. Elaborado pela autora.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 64 : Seleção da Zona de análise.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 65 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1° pavimento. 22 de junho às 14h.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 66 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1° pavimento. 21 de março / setembro às 14h.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 67 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1° pavimento. 22 de dezembro às 14h.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 68 : Corte transversal esquemático. Sem escala. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 69 : Perpectiva de divulgação do projeto vencedor do concurso para a sede SICOOB/ Crediara de Araxá-MG, Brasil. Disponível na prancha 06/06 do concurso.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 70 : Brise adicionado a face externa da cortina de vidro na fachada noroeste do projeto SICOOB. Software ArchiWIZARD. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>104</i>

Figura 71 : Cenário 01 – equivale ao cenário tipo, como projetado: cortina de vidro sem sombreamento.	106
Figura 72 : Cenário 02 – cortina de vidro com brise horizontal na fachada noroeste.....	106
Figura 73 : Cenário 03 – cortina de vidro com brise horizontal na fachada sudoeste.....	106
Figura 74 : Cenário 04 - cortina de vidro com brise horizontal nas fachadas noroeste e sudoeste.	106
Figura 75 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a -30°.....	106
Figura 76 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 0°.....	106
Figura 77 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 30°.....	107
Figura 78 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 45°.....	107
Figura 79 : Gráfico referente ao cenário tipo . Sem recurso de sombreamento da cortina de vidro. Elaborado pela autora.....	108
Figura 80 : Cenário 02 – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre a fachada NW. Elaborado pela autora.....	108
Figura 81 : Cenário 03 – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre a fachada SW. Elaborado pela autora.....	109
Figura 82 ; Cenário 04 – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre as fachadas NW e SW. Elaborado pela autora.	109
Figura 83 : Cortina de vidro sem sombreamento.....	110
Figura 84 : diferentes inclinações do brise para a fachada NW.....	110
Figura 85 : diferentes inclinações do brise para a fachada SW.	110
Figura 86 : diferentes inclinações do brise para a fachada NW e SW.....	110
Figura 87 : Diferentes orientações de fachada, brise com aletas a 0°.....	110
Figura 88 : Diferentes orientações de fachada, b rise com aletas a 30°.....	110
Figura 89 : Diferentes orientações de fachada, Brise com aletas a -30°.....	110
Figura 90 : Diferentes orientações de fachada , Brise com aletas a 45°.....	110
Figura 91 : Mapa de decisões. Elaborado pela autora.	111
Figura 92 : Quebra-cabeça (imagem ilustrativa). Cada parte pode assumir diferentes posições e, ainda assim, ter o seu papel na conformação do todo. Fonte: elaborado pela autora.	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Condicionantes externas e internas conectadas pela envoltória do edifício. Fonte: adaptação de Hausladen et al, (2006) e Hens (2011).	25
Tabela 2 : Evolução das ferramentas de projeto, dos métodos manuais tradicionais aos simuladores contemporâneos. Fonte: Adaptado de Clarke (2007).	26
Tabela 3 : Características e conexões entre os softwares de auxílio à concepção e os softwares de análise ambiental. Fonte: Elaborado pela autora.	29
Tabela 4 : Ferramentas de avaliação ambiental na construção adotadas por alguns países. Fonte: Adaptação de Wassouf (2014, p.13).	30
Tabela 5 : Níveis de maturidade das práticas CAO (concepção assistida pelo computador). Fonte: Celnik e Lebègue (2015, p.44).....	41
Tabela 6 : Países onde a aplicação do BIM se destaca. Fonte: Adaptado de Ferriès (2015, p.39).	45
Tabela 7 : Níveis de desenvolvimento do modelo geométrico digital no sistema BIM. Fonte: Adaptado de AIA (2013); Hoyet et al (2016).	47
Tabela 8 : Dados de identificação do projeto utilizado como objeto de estudo. Fonte: Elaborado pela autora...	61
Tabela 9 : Conjunto de pranchas apresentadas na etapa de avaliação do concurso. Organizado pela autora. Fonte: INSITE Arquitetos.....	62
Tabela 10 : Dados gerais do terreno – Araxá-MG, Brasil. Fonte: elaborado pela autora.....	64
Tabela 11 : Custo das mudas de espécies de arborização urbana – bioma cerrado. Fonte: Lorenzo (2013).	65
Tabela 12 : Dados Climáticos. Fonte: elaborada pela autora, a partir de fontes diversas.	67
Tabela 13 : Degraus de evolução do projeto ao longo da elaboração do modelo geométrico digital. Fontes: Elaborada pela autora, a partir de AIA (2013) e HOYET et al (2016).	72
Tabela 14 : Material de referência para a Etapa 01. Fonte: Elaborado pela autora.....	73
Tabela 15 : Síntese das diretrizes projetuais disponibilizadas no Edital do Concurso SICOOB/Crediara para o edifício sede em Araxá - MG. Elaborado pela autora.....	74
Tabela 16 : Apresentação de parâmetros, indicadores e unidades de medidas adotados. Fonte: Elaborado pela autora.	78
Tabela 17 : Horários de insolação na fachada Noroeste (NO). Fonte: elaborado pela autora.....	84
Tabela 18 : Horários de insolação na fachada Sudeste (SE). Fonte: elaborado pela autora.	85
Tabela 19 : Horários de insolação na fachada Nordeste (NE). Fonte: elaborado pela autora.	85

<i>Tabela 20 : Horários de insolação na fachada Sudoeste (SO). Fonte: elaborado pela autora.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 21 : Resultados de insolação extraídos do software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 22 : Gráficos de consumo energético para diferentes opções de Dimensão de abertura (%), Proporção de área sombreada e tipo de vidro, relacionados para cada quadrante de orientação das fachadas do modelo. Fonte: Insight 360 / Autodesk. Elaborado pela autora.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 23 : Configuração de localização para o modelo de energia. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 24 : Configurações avançadas de energia. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 25 : Tipos conceituais de composição do edifício. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 26: Tipo de espaço – áreas de atividades bancárias – escritório. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 27 : Estimativa mensal de refrigeração para cada cenário simulado no software Green Building Studio / Autodesk. Elaborado pela autora.</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 28 : Simulação dos índices de exposição à radiação (%) e iluminância (lux0 nas zonas estabelecidas para estudo. Software ArchiWIZARD. Elaborado pela autora.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 29 : Resultados de iluminância no plano de trabalho na zona de estudo pré-determinada. Elaborado pela autora.</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 30 : Parâmetros e indicadores disponíveis no software Archiwizard. Fonte: elaborado pela autora.</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 31 : Síntese dos resultados quantitativos dos diferentes cenários simulados. Software ArchiWIZARD. Fonte: Elaborado pela autora.</i>	<i>107</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	The American Institute of Architects
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CAU	Conselho de Arquitetura e Urbanismo
CREDIARA	Cooperativa de Credito da Região de Araxá Ltda
EPW	EnergyPlus Weather Data File
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPDSA	Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá
ISO	International Organization for Standardization
LABEEE/UFSC	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
LoD	<i>Level of Development</i> (inglês)
NBR	Norma Brasileira Registrada
NdD	<i>Le Niveau de Développement</i> (francês)
SICOOB	Sistema de Cooperativas de Crédito do Brasil
SINDUSCON	Sindicato da Construção
TRY	Test Reference Year
ZB	Zona Bioclimática
NV	Norte Verdadeiro

LISTA DE GRANDEZAS E UNIDADES DE MEDIDA

Grandeza	Unidade de medida
Área	m ²
Energia	KWh
Irradiação	W/m ²
Luminosidade	W/m ²
Temperatura	°C
Umidade relativa do ar	%
Velocidade do ar	m/s
Volume	m ³

GLOSSÁRIO

BIM: Acrônimo de *Building Information Model, Modeling* ou *Management*. Em síntese, o BIM pode ser entendido como uma maneira integrada de se trabalhar, dedicado à concepção, execução e gestão do edifício e de seus componentes.

BIManagement: é o processo de gestão do projeto. Utiliza de maneira associada o modelo geométrico digital, a gestão das informações e dos agentes envolvidos.

BIModel: é o arquivo criado com um determinado software, capaz de agrupar objetos, informações geométricas e textuais, especificações, propriedades e outros. Consiste no uso do modelo geométrico digital de maneira isolada.

BIModeling: é o processo de trabalho que utiliza as ferramentas em esforço conjunto para a criação de um banco de dados do projeto e para seu compartilhamento entre os agentes.

Brise-soleil: O termo de origem francesa equivale ao quebra-sol e representa um dispositivo de sombreamento composto por uma sequência repetida de peças horizontais, verticais ou mistas, que podem ainda, ser móveis ou fixas. É utilizado, geralmente, sobre planos envidraçados com a função de proteger da incidência solar direta, favorecendo, dentre outros, o controle de ganhos térmicos e dos níveis de luminosidade natural. Em português, é comumente denominado *BRISE*.

Interoperabilidade: Termo adotado para tratar da capacidade de conexão entre diferentes dois ou mais elementos.

LoD: Acrônimo de *Level of Development*. Nível de desenvolvimento do modelo geométrico digital. Refere-se ao grau de definição do objeto caracterizado pela sua geometria somado às informações associadas ao modelo geométrico digital.

LoData: *Level of Data*. Nível de dados do modelo geométrico digital. Caracteriza-se pelos diversos fluxos de informação que ela transmite ou armazena.

LoDetail: *Level of Detail*. Nível de detalhes do modelo geométrico digital. Refere-se, essencialmente, ao grau de definição geométrica da representação gráfica dos objetos.

Modelo geométrico digital: Modelo tridimensional parametrizado elaborado em mídia digital.

Parametrização: Configura a definição de um conjunto de padrões interdependentes. Dispõe de perfil auto ajustável mediante a alteração de uma ou mais variáveis.

Plug-in: É um recurso que permite a desenvolvedores de softwares externos adicionarem funções de seu produto à um outro software. Está associado ao sentido de Closed-BIM, configurando uma maneira controlada de garantir a interoperabilidade entre os softwares.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
RÉSUMÉ	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Problemática	17
1.2. Hipótese	19
1.3. Objetivos	19
1.4. Metodologia	20
1.5. Estrutura da tese	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1. Desempenho Ambiental de Edificações.....	24
2.1.1 Preâmbulo Simulação Digital	25
2.1.2 Desafios da Análise Ambiental através da Simulação Digital.....	27
2.1.3 Softwares de concepção Softwares de análise ambiental	28
2.1.4 Normas e diretrizes	30
2.1.5 Reflexões	31
2.2. Tomada de Decisão Componentes Cognitivos	32
2.2.1 Ciência Cognitiva Solução de Problemas	32
2.2.2 O Problema Sob a Ótica da Arquitetura	33
2.2.3 Articulação e Decomposição do Problema.....	34
2.2.3.1 Complexidade.....	37
2.2.3.2 Instabilidade.....	37
2.2.3.3 Intersubjetividade.....	38
2.2.4 Reflexões	38
2.3. BIM Diálogo com o Desempenho Ambiental	39
2.3.1 Building Information Modeling - BIM.....	39
2.3.2 Diálogo entre Processo e Ferramenta	43
2.3.3 Ferramentas de Análise Ambiental e os Desafios da Tomada de Decisão no Sistema BIM.....	43
2.3.4 Cenário Internacional.....	44
2.3.5 Níveis de desenvolvimento do BIM.....	47
2.3.6 Interoperabilidade	48
2.3.7 Caso ArchiWIZARD Software de análise integrado ao sistema BIM	50
2.3.7.1 Contextualização.....	50
2.3.7.2 A Escola de Arquitetura de Toulouse - ENSAT	51
2.3.7.3 Archiwizard o <i>software</i>	52
2.3.7.4 Considerações sobre a aplicabilidade do software ArchiWIZARD no Brasil	54
2.3.8 Reflexões	54
3. DECOMPOSIÇÃO.....	56
3.1. Introdução Metodológica	57
3.1.1 Análise.....	57
3.1.2 Método para a decomposição do objeto de estudo	57
3.2. Definição do objeto de estudo	58
3.2.1 Requisitos de seleção do objeto de estudo	59
3.2.2 Contexto geral	60
3.2.3 Projeto apresentado na etapa do concurso	61

3.2.4	Fase de projeto executivo	63
3.2.5	Contexto urbano.....	64
3.2.6	Condicionantes Climáticas.....	67
3.3.	Diretrizes para a decomposição.....	71
3.4.	Etapa 01 – Nível de dados 000	73
3.4.1	Termo de Referência – definição das diretrizes projetuais	74
3.4.2	Parâmetros e indicadores.....	75
3.5.	Etapa 02 – LoD 100	75
3.5.1	Percepção do entorno e suas condicionantes	76
3.5.2	Insolação	78
3.5.2.1	Carta solar	80
3.5.2.2	Ferramentas de simulação digital	86
3.6.	Etapa 03 – LoD 200	93
3.7.	Etapa 04 – LoD 300	98
3.8.	Reflexões.....	111
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
4.1.	Considerações finais	114
4.1.1	Limitações da tese.....	115
4.1.2	Recomendações para pesquisas futuras	116
5.	ANEXOS.....	117
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

APRESENTAÇÃO | OBJETIVOS

Este capítulo dedica-se a contextualizar o recorte temático estabelecido para a elaboração desta tese. Tem como objetivo, apresentar os argumentos que delineiam, principalmente, a problemática, a hipótese e a metodologia adotada. Com o propósito de orientar a leitura das partes procurando manter o entendimento do conjunto, o último item deste capítulo se dedica à apresentação de um diagrama de síntese da estrutura geral da tese.



Figura 1: Quebra-cabeça (imagem ilustrativa). Cada parte tem o seu determinado lugar e, por consequência, um papel na conformação do todo. Fonte: elaborado pela autora.

1.1. Problemática

O contexto da Arquitetura neste início do séc. XXI é marcado pela intensificação do uso de mídias digitais seja na concepção, representação, simulação ou execução do projeto, embora não seja um processo recente. A invenção do computador durante a segunda guerra mundial já representava uma nova etapa para o tratamento da informação através de ferramentas, quando modelos matemáticos passaram a ser estabelecidos para os problemas, visando uma procura de soluções (PICON, 2010, p. 24).

Décadas mais tarde, a disponibilização do computador pessoal implicou em mudanças gradativas no processo e no sistema de trabalho de diversas áreas de conhecimento, incluindo o campo de saber em torno da concepção arquitetônica. Por alguns anos, acreditou-se que o computador seria capaz de gerar soluções automáticas para os problemas, o que alavancou pesquisas sobre métodos de concepção projetual. Em sequência, a implantação do sistema *Computer-Aided Design* (CAD) em tentativa de substituição das pranchetas nos ateliês, implicou na emergência de novos mundos projetuais (MITCHELL, 2008, p. 52).

Aos poucos, a tecnologia de processamento, trocas e armazenamento de dados se aprimorou e surgiram novas alternativas no campo das ferramentas digitais aplicadas ao processo de trabalho dos projetistas. A década de 1980 é marcada por grandes avanços em relação ao desenvolvimento de tecnologias digitais incorporadas ao processo de projeto (MITCHELL, 2008). Revelam-se como conteúdos importantes deste período, a parametrização de dados, a interoperabilidade, a modelagem digital tridimensional e a prototipagem.

A entrevista com Rick Smith, relatada por Lynn (2013, p.45-46), explicita o que talvez tenham sido as primeiras iniciativas de se conceber um modelo geométrico digital de alta fidelidade e, a partir dele, extrair os desenhos bidimensionais em um escritório de Arquitetura. Este processo, é inverso ao até então tradicionalmente utilizado, seja manualmente ou com o apoio de ferramentas do sistema CAD. Nas duas últimas décadas, em decorrência deste percurso, a produção arquitetônica tem sido pontuada pelo resultado destas experimentações e o modelo geométrico digital pode ser considerado uma das peças chave nesse processo.

Gradativamente, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de softwares de auxílio ao projeto ganham espaço no mercado acadêmico e profissional. Em especial, os softwares associados ao sistema *Building Information Modeling* (BIM) se destacam pela capacidade de processar informações e gerar documentações coordenadas, permitindo utilizar com maior precisão, recursos para prever desempenhos, aparência e custos, além da própria representação gráfica da edificação (MEDEIROS, 2009).

O panorama do BIM no Brasil apresenta pouco desenvolvimento no que tange à aplicabilidade deste sistema como processo ou método de projeto no setor da construção civil. Entretanto, avanços significativos podem ser observados na utilização das ferramentas do sistema BIM (CAU, 2016). Sendo assim, apesar de discutir-se o sistema como um todo, optou-se por investigar um recorte estabelecido na ferramenta e seus recursos de análise, especificamente, aqueles dedicados ao desempenho ambiental. O diagrama (figura 2) propõe esclarecer o recorte proposto para a pesquisa da tese.

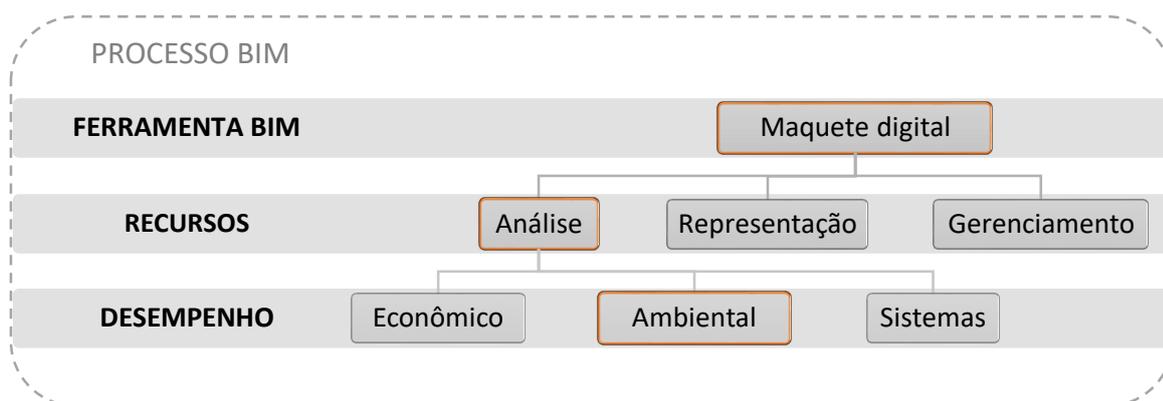


Figura 2 : Diagrama de síntese da proposta para pesquisa de tese. Fonte: elaborado pela autora.

Assumindo a enorme quantidade de parâmetros que exercem influência sobre as análises inerentes ao desempenho ambiental, faz-se importante destacar a necessidade da capacitação do profissional projetista nesta área. A compreensão de princípios básicos da física a respeito de térmica, da luz e do som emergem como conteúdos tão importantes quanto os demais já assumidos como princípios de um projeto.

O projeto de arquitetura tem, por princípio, um caráter multidisciplinar, devido a sobreposição de diferentes áreas de conhecimento. Tal característica acaba por aproximar profissionais de áreas diversas, convidados a desempenhar papéis específicos nas diversas fases do processo de projeto. Entende-se, portanto, que o arquiteto, através de sua posição central e articuladora do processo de projeto arquitetônico, deva assumir um papel proativo e comprometido com os requisitos da sustentabilidade, desencadeando e incentivando o mesmo compromisso na equipe como um todo. Entre participantes diretos e indiretos, a equipe de projeto em geral tende a crescer. “Dentre os fatores fundamentais para o sucesso de qualquer projeto de arquitetura, está a capacidade de que a equipe trabalhe bem em conjunto e de que as informações necessárias para o projeto estejam estabelecidas com clareza entre todos os membros da equipe” (FARRELLY, 2010, p. 152).

Neste sentido, o sistema BIM tem, como uma de suas premissas, a interoperabilidade entre os dados, os softwares e os agentes envolvidos. O compartilhamento da informação configura-se como a essência do projeto integrado e do processo participativo, facilitando a integração dos diferentes agentes atuantes no desenvolvimento do projeto (KUBBA, 2012; MARTINS, 2011).

Contudo, quanto mais se compreende as questões inerentes ao desempenho ambiental, mais se percebe seu caráter complexo, relativo e interdependente. “São muitas questões a serem consideradas e decisões que devem ser tomadas ao mesmo tempo e rapidamente. Algumas estratégias, para tornar os problemas de projeto gerenciáveis, são imperativas” (ZAMBRANO; BASTOS e FERNANDEZ, 2008, p.6). Entende-se que os softwares paramétricos com base no sistema BIM podem colaborar para a compreensão dos problemas de projeto, pois permitem a visualização do conjunto assim como a possibilidade de intervenção e atualização simultânea das partes. A discussão a respeito das possíveis alternativas de projeto, seja na esfera técnica, na formal ou na ambiental, enriquece o processo e favorece o resultado.

O problema está inserido no contexto da arquitetura contemporânea, onde o processo de concepção é cada vez mais mediado por ferramentas digitais. Os esforços devem, ao mesmo tempo, ser focados em uma abordagem multidisciplinar com vistas a um projeto compromissado, simultaneamente, a diversos requisitos (GEYER, 2009).

Considera-se, como premissa, que os softwares de análise ambiental estão sob um processo de transição e integração com as ferramentas *Building Information Modeling* (BIM). Esse fato pode alterar significativamente a forma de usá-los no processo de projeto, potencializando sua aplicabilidade nas fases iniciais da concepção do projeto arquitetônico. Este novo paradigma incentiva um processo de projeto mais dinâmico e relacionado com os requisitos ambientais, o que pode promover o desenvolvimento de edifícios sustentáveis de alto desempenho.

Assim, surge uma questão de partida para este estudo: **Como tratar, com enfoque multidisciplinar, a conformação dos elementos de construção - no ambiente digital - de modo a possibilitar um adequado desempenho ambiental do objeto arquitetônico?**

Sabe-se que a tecnologia vem auxiliar o processo de tomada de decisões quando disponibiliza ferramentas que conferem precisão às questões técnicas e alimentam a representação gráfica, gerando maior compreensão espacial do projeto. As ferramentas adotadas pelo arquiteto conduzem seu modo de projetar, refletindo, por exemplo, nas questões formais do edifício (MITCHELL, 2008, p. 52).

Ao adotar o sistema *Building Information Modeling* (BIM) é preciso considerar que os softwares utilizados ainda apresentam problemas de compatibilidade de dados. Reconhecer sua relevância no processo de projeto exige compreensão sobre as metodologias e as etapas de desenvolvimento do mesmo. Os dados tratados pelas ferramentas de representação, simulação e gerenciamento dependem da articulação do projetista, que os utiliza no fomento ao desenvolvimento do projeto. Tanto a forma quanto os elementos relativos à qualidade ambiental são interdependentes e se impactam mutuamente.

1.2. Hipótese

A ferramenta BIM, através da parametrização e da modelagem tridimensional, favorece a relação entre a análise ambiental e a concepção arquitetônica, ao criar condições favoráveis para a abordagem multicritério e possibilitar o desenvolvimento de edificações comprometidas com o desempenho ambiental como resultado deste processo.

1.3. Objetivos

Como **objetivo geral**, pretende-se contribuir para o avanço no debate sobre as estratégias de análise ambientais no processo de projeto arquitetônico imerso no campo das mídias digitais.

Para tal, definem-se como **objetivos específicos**:

- Investigar a dinâmica das ferramentas digitais de análise incorporadas ao processo de projeto arquitetônico;
- Verificar novas perspectivas para a análise ambiental resultantes da integração com o sistema BIM;
- Explorar a aplicabilidade de estratégias de abordagem multicritério em plataforma BIM como elemento orientador da tomada de decisão ao longo do processo de análise do desempenho ambiental.

1.4. Metodologia

A fim de alcançar o objetivo desta pesquisa, propõe-se uma abordagem metodológica que vincule o embasamento teórico e a experimentação/verificação prática.

Revisão de literatura

A revisão de literatura na tese, normalmente, configura-se como um compilado de sínteses da literatura adotada. Explora a habilidade do autor para pesquisar, resumir e identificar ideias centrais, demonstrando consciência crítica e capacidade intelectual para selecionar ideias relevantes, avaliando seu valor no contexto (HART, 1998, p.9).

Define-se como fundamental o aprofundamento e a contextualização teórica dos temas: (i) ferramentas de análise ambiental; (ii) *Building Information Modeling*; e (iii) tomada de decisão frente à integração destas ferramentas ao ambiente BIM no processo de projeto.

Estudo de caso

Estudo de caso é uma estratégia de pesquisa, de caráter empírico, capaz de explorar e investigar fenômenos baseados em dados reais através da análise detalhada de um determinado contexto e suas relações (YIN, 2005; ZAINAL, 2007).

Em diálogo com a pesquisa teórica, propõe-se utilizar como ponto de partida um projeto modelado com o apoio de ferramentas e premissas do sistema BIM, onde, a partir do modelo geométrico digital, possa se explorar as possíveis análises ambientais associadas às ferramentas digitais de suporte à decisão.

Decomposição

Decompor o objeto para a análise equivale a “desmontar, trazer para fora, extrair a relação entre os componentes e os aspectos do projeto. Justapor ou sobrepor desenhos acrescidos de informações complementares, pode ser útil frente a análise da relação entre os diferentes sistemas no projeto” (LEUPEN et al, 1997, p.19). Este processo demanda certa ordem, um tipo de organização a fim de garantir a legibilidade das informações e proporcionar o entendimento do todo através da transparência do processo.

Com base em um ensaio decompositivo do projeto selecionado como objeto de estudo, procura-se compreender a dinâmica das estratégias cognitivas de tomada de decisão resultantes da adoção destas ferramentas de análise nas etapas de concepção arquitetônica orientada ao desempenho ambiental. O método de decomposição proposto está detalhado no Capítulo III e toma por base os níveis de desenvolvimento do BIM adotados pela organização *BuildingSMART* e pelo *The American Institute of Architects - AIA*.

Análise

No âmbito da arquitetura e das disciplinas adjacentes, *analisar* “consiste em examinar seus componentes e suas composições, o relacionamento entre projeto e contexto, entre projeto, construção e usuário” (LEUPEN et al, 1997, p.18). A análise consiste no processamento e cruzamento de dados associados à avaliação dos resultados obtidos pelo experimento. Um dos objetivos deste material é expor, através de dados, planilhas, imagens e documentos, as fragilidades e potencialidades da integração das ferramentas de análise ambiental ao sistema BIM. Daqui, pretende-se obter dados para possibilitar a verificação da hipótese.

1.5. Estrutura da tese

A tese está estruturada em duas partes (figura 3). A primeira se concentra na elaboração da base de discussão teórica e se divide em dois capítulos. O primeiro capítulo, intitulado *Introdução*, dedica-se à apresentação da problemática, hipótese, objetivos e proposta metodológica. Em sequência, encontra-se a *Fundamentação Teórica* no Capítulo II. Este, por sua vez, está subdividido em três tópicos principais: (i) Desempenho Ambiental de Edificações; (ii) Tomada de Decisão | Componentes Cognitivos; e (iii) BIM | Diálogo com o Desempenho Ambiental. O Capítulo III expõe o processo de *Decomposição* para fins de análise ambiental e se configura como principal contribuição desta tese.

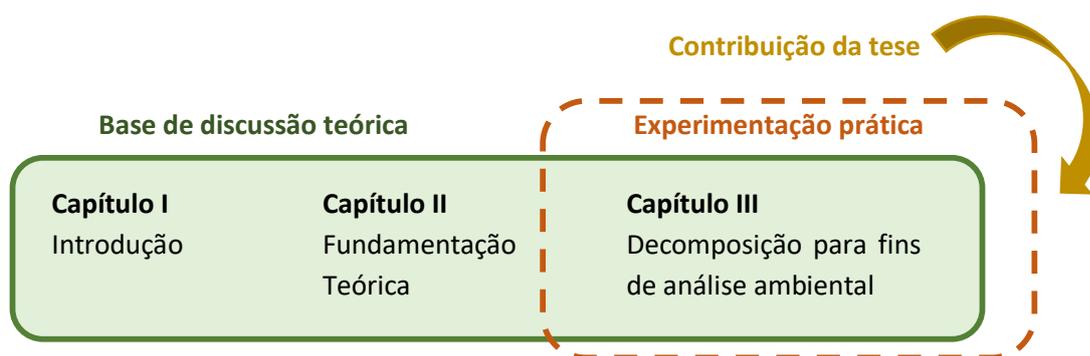


Figura 3 : Diagrama - Estrutura dos capítulos. Fonte: elaborado pela autora.

Com o propósito de apresentar uma visão geral da estrutura da tese, a figura 4 expõe a organização dos capítulos associados à uma respectiva síntese temática.

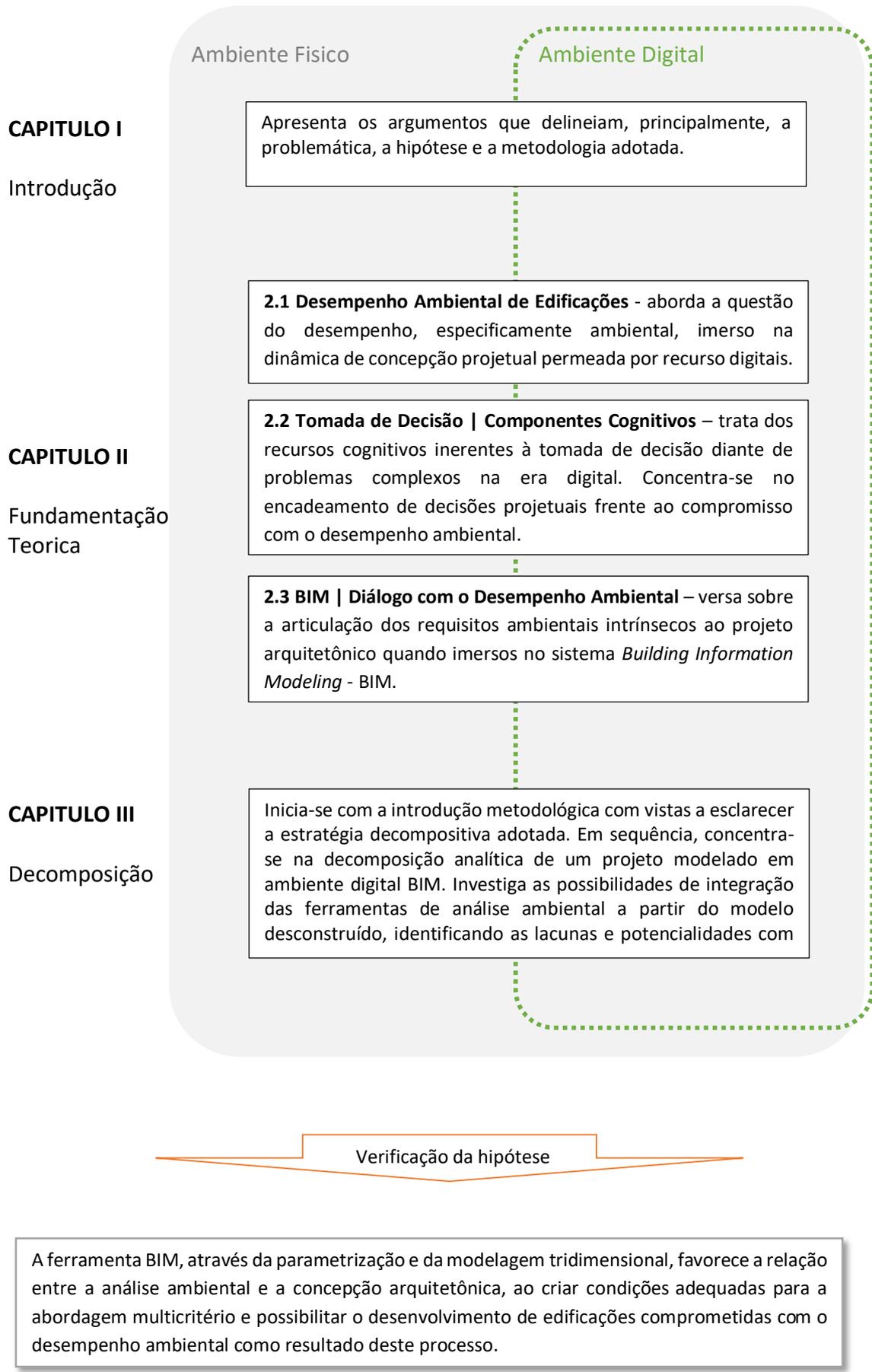


Figura 4 : Diagrama - Estrutura da tese e conteúdo central dos capítulos. Fonte: elaborado pela autora.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

APRESENTAÇÃO | OBJETIVOS

Este capítulo concentra-se no embasamento teórico da tese.

Tem como objetivo apresentar os conteúdos centralizadores do debate e elaborar uma linha de raciocínio que evidencie a conexão entre eles.

Apresenta-se dividido em três partes:

2.1 Desempenho Ambiental de Edificações - aborda a questão do desempenho, especificamente ambiental, imerso na dinâmica de concepção projetual permeada por recurso digitais.

2.2 Tomada de Decisão | Componentes Cognitivos – trata dos recursos cognitivos inerentes à tomada de decisão diante de problemas complexos na era digital. Concentra-se no encadeamento de decisões projetuais frente ao compromisso com o desempenho ambiental.

2.3 BIM | Diálogo com o Desempenho Ambiental – versa sobre a articulação dos requisitos ambientais intrínsecos ao projeto arquitetônico quando imersos no sistema *Building Information Modeling* - BIM.

2.1. Desempenho Ambiental de Edificações

O equilíbrio entre arquitetura e clima foi abalado entre as décadas de 1950 e 1970 devido ao uso indiscriminado da iluminação artificial e de equipamentos de ar condicionado nos edifícios comerciais, somados aos eletrodomésticos nos edifícios residenciais e outros, resultando em consumo exacerbado das fontes naturais de energia. Em 1973, a crise do petróleo foi decisiva para estabelecer uma ruptura neste ciclo crescente, desencadeando um processo de reflexão e esforço conjunto de diferentes setores dedicados a redução dos impactos da matriz energética e ao repensar das perspectivas globais de desenvolvimento (GONÇALVES, 2015; ROCHA, 2016; KIBERT, 2013).

É senso comum entre diversos autores que “todas as exigências ambientais não podem ser tratadas de forma idêntica” (FERNANDEZ; LAVIGNE, 2009, p.33) e que a problemática ambiental na concepção do projeto arquitetônico é um exercício complexo, onde existem preocupações em diferentes níveis de importância que podem gerar múltiplas respostas e, por vezes, contraditórias, tornando o processo de decisão mais difícil. Para Fernandez e Lavigne (2009, p.33), o problema está na maneira de reconhecer e avaliar os resultados, que é papel da avaliação ambiental.

Desde os anos 1990, o desempenho ambiental relacionado ao projeto arquitetônico de edifícios se apresenta como questão emergente. O estudo do desempenho ambiental tem sido um desafio acompanhado do “uso de simulações computacionais, tanto como ferramenta central de avaliação do desempenho da arquitetura propriamente dita como de integração entre arquitetura e engenharias de sistemas prediais (...)” (GONÇALVES, 2015, p.237).

A abordagem baseada no desempenho pode colaborar de maneira significativa para elevar os índices de qualidade de construção através do trabalho integrado entre os agentes de projeto. Sendo necessário ter, por base, o adequado conhecimento das propriedades físicas e seus comportamentos quando se pretende tomar decisões de projeto comprometidas com os requisitos ambientais (HENS, 2011). Destaca-se que “o bom desempenho ambiental do projeto não deixou de ser embasado no entendimento claro e aprofundado de princípios da Física aplica à construção, somado ao conhecimento de precedentes testados e validados por estudo de casos existentes” (GONÇALVES, 2015, p.237).

Neste sentido, se destaca o papel da envoltória da edificação, na qual a relação entre exterior e interior se dá através das características físicas e espaciais de suas camadas, considerando diferentes materiais, espessuras e vãos. A envoltória de um edifício é formada por um conjunto de barreiras, protetores e conectores energéticos entre o exterior e o interior (ROMERO, 2001).

Orientados pelos aspectos da física aplicada ao edifício, se faz necessário compreender quais os elementos atuantes, externa e internamente à envoltória (tabela 1), configuram-se como condicionantes da equação. As condições internas e externas estão permanentemente conectadas pela envoltória, quanto maior for a necessidade de ruptura dessa conexão, mais severos serão os requisitos de desempenho e maior o consumo energético para manter as condições adequadas de conforto (HENS, 2011).

Tabela 1 : Condicionantes externas e internas conectadas pela envoltória do edifício. Fonte: adaptação de Hausladen et al, (2006) e Hens (2011).

Exterior	Envoltória	Interior
Radiação solar (W/m ²)	Dimensão das aberturas, tipo de vidro, índice de reflexão, transparência, sombreamento e permeabilidade visual	Iluminância (lux) Ofuscamento Campo visual
Temperatura do ar (°C)	Dimensão das aberturas, condição de permeabilidade ou capacidade de isolamento da esquadria	Temperatura do ar (°C) Temperatura da superfície interna
Qualidade do ar	Permeabilidade ou isolamento	Qualidade do ar e Trocas de ar
Umidade relativa	Porosidade das superfícies e qualidade do ar	Umidade relativa
Fontes sonoras	Permeabilidade ou isolamento	Receptor e fonte sonora
Velocidade do ar	Permeabilidade ou isolamento	Velocidade do ar

A envoltória pode ser compreendida como elemento de interface entre o ambiente exterior e o interior da edificação. Deve ser capaz de lidar com as diferentes condições climáticas ao longo do ano e com a diversidade e dualidade dos parâmetros envolvidos, com vistas a assegurar níveis de conforto adequados às tarefas determinadas para cada ambiente (HAUSLADEN et al, 2006).

O projeto de uma edificação é composto por uma infinidade de parâmetros relacionados a um ou mais elementos, “mesmo um número relativamente baixo de parâmetros dará origem a um grande número de combinações” (CLARKE, 2007).

Um dos principais desafios consiste em articular parâmetros que permanecem vinculados ao longo das diferentes etapas de projeto, e ainda, se prolongar à vida útil do edifício. Por exemplo, ajustar a posição de um dispositivo de sombreamento de uma esquadria desencadeará efeitos em cascata sobre, a quantidade de luz do dia, a demanda de iluminação artificial, o ganho de calor e outros. Reconhecendo os desafios inerentes ao desempenho ambiental relacionado ao projeto arquitetônico de edifícios e, por outro lado, o potencial de gerenciamento de dados dos softwares atualmente disponíveis, é possível identificar na tecnologia um importante ferramental de auxílio ao processamento das informações e à tomada de decisão.

2.1.1 Preâmbulo | Simulação Digital

A simulação computacional é considerada uma poderosa ferramenta de análise na atualidade. Por ser capaz de simular múltiplos cenários, se aplica a diferentes campos de saber, de jogos à problemas de engenharia. A complexidade da simulação está vinculada ao número de variáveis, às informações do

modelo, ao método de cálculo, ao recorte de tempo e a interface e estrutura do software (HENSEN; LAMBERTS, 2011; MENDES et al, 2001).

Dentre os jogos, o xadrez desempenhou importante papel no desenvolvimento tecnológico de algoritmos destinados a reconhecimento de padrões e soluções de problemas. O jogo de xadrez foi objeto de estudo da pesquisa do psicólogo holandês Adriaan de Groot em 1946, contribuindo para a criação da ciência cognitiva, que propunha “sistematizar e desconstruir o processo de pensamento” (SHENK, 2007, p.132). William Chase e Herbert Simon em 1973, influenciados pelas teorias de De Groot, consideravam os atributos do xadrez “apropriados para os cientistas que procuravam decifrar questões sobre tomada de decisão, atenção e consciência” (SHENK, 2007, p.134).

A simulação de um modelo digital geralmente é baseada em métodos numéricos que objetivam alcançar uma solução aproximada às reações do mesmo modelo em ambiente real (HENSEN; LAMBERTS, 2011; CLARKE, 2007). No entanto, os computadores apenas realizam funções para as quais foram programados, lembrando que “a simulação como uma técnica para compreender e prever o comportamento dos sistemas, antecede o computador digital” (SIMON, 1996, p.13).

No campo das engenharias, a simulação do desempenho térmico da edificação através de ferramentas digitais é uma área de interesse de pesquisa desde os anos 1960 (SPITLER, 2006, p.711). Crescente desde então, apresenta sensível aperfeiçoamento nas interfaces gráficas e na quantidade de parâmetros e requisitos simuláveis (tabela 2). Mas ainda há muito a se aperfeiçoar no campo da simulação digital, independentemente dos sistemas que estão submetidos à investigação.

Tabela 2 : Evolução das ferramentas de projeto, dos métodos manuais tradicionais aos simuladores contemporâneos. Fonte: Adaptado de Clarke (2007).

Geração	Características
1ª	Projetistas se basearam em um conjunto de diferentes técnicas de cálculo para quantificar e avaliar o desempenho do edifício na fase de concepção. A abordagem é fragmentada. Os cálculos são baseados em formulações analíticas que incorporam muitas suposições simplificadoras.
2ª	Em meados dos anos 70, começaram a surgir programas de 2ª geração. Estes salientaram os aspectos temporais do problema, particularmente no que se referem a elementos constantes de longo tempo, tais como construções em camadas múltiplas. Os métodos de cálculo subjacentes permaneceram analíticos e fragmentados.
3ª	Com o advento de computadores mais potentes, a terceira geração de programas emerge em meados dos anos 80. Estes assumem que apenas as dimensões espaço e tempo são variáveis independentes. Todos os outros parâmetros do sistema são dependentes de modo que nenhum processo de transferência de energia em particular pode ser resolvido isoladamente. Isto sinalizou o começo do modelo integrado onde os aspectos térmicos, visuais e acústicos do desempenho são considerados em conjunto.
4ª	Em meados da década de 90, a integração somou-se à interoperabilidade do programa, que é essencialmente uma questão de modelagem de dados. Além disso, e em resposta à crescente aceitação por profissionais, novos desenvolvimentos dedicaram-se a interfaces de usuário baseadas em conhecimento, controle de qualidade de aplicativos e treinamento. Em síntese, apresenta boa correspondência com a realidade inteligente baseada em conhecimento de rede, totalmente integrada e com características de compatibilidade e interoperabilidade.

Pragmaticamente, a simulação permite aos usuários “entender a inter-relação entre os parâmetros de projeto e desempenho, identificar potenciais áreas problemáticas e implementar modificações adequadas ao projeto, além de testá-las” (CLARKE, 2007). A fragilidade da simulação está na sua complexidade, na incapacidade de fornecimento de respostas ou soluções e, por vezes, na impossibilidade de se garantir a qualidade dos resultados (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

A ideia de que toda simulação é uma abstração da realidade, praticamente inviabiliza a possibilidade de validação em sua completude, mesmo se utilizados dados experimentais para comparação do modelo à realidade (HAZELRIGG, 2008). Em contraponto, o texto de Spitler (2006, p.550) apresenta referências de pesquisas dedicadas ao estudo de estratégias de verificação e validação dos resultados de simulação de desempenho em edificações e, acredita que, o desenvolvimento do tema irá impactar os métodos de simulação que estão por vir.

2.1.2 Desafios da Análise Ambiental através da Simulação Digital

Com o intuito de lidar com as questões acerca do desempenho ambiental, Hensen; Lamberts (2011) destacam os esforços da *International Building Performance Simulation Association (IBPSA)*¹ dedicados à conscientização acerca das limitações e potencialidades da simulação de desempenho em edificações, buscando evitar o excesso de expectativas e consequentes desilusões.

Alguns dos percalços enfrentados pela simulação antes do computador se resolveram com a implementação dos recursos digitais. Mas, a maior parte dos problemas são recorrentes e merecem a atenção dos pesquisadores. Baseado nos relatos de Spitler (2006), Hensen e Lamberts (2011), Hazelrigg (2008) e Clarke (2007), podem ser identificados alguns dos obstáculos que resultam na limitação do uso da simulação computacional no campo da arquitetura e das engenharias:

- Concentração das análises e decisões na fase final do projeto;
- A simulação em geral limita-se a uma solução de projeto com diferentes variáveis;
- Limitação da capacidade dos algoritmos computacionais em lidar com a aplicabilidade das leis da física em múltiplos pontos simultaneamente;
- Falhas na interface com o usuário;
- Discrepância entre os índices previstos e o real devido ao nível de incerteza de parâmetros que dependem da forma de utilização, a exemplo dos índices de consumo energético;
- Falta de sistematização / normatização dos diferentes bancos de dados (clima, materiais e etc);
- Dificuldades de interoperabilidade entre softwares para elaboração do modelo e tratamento dos dados;
- Terminologia sutilmente diferente entre as profissões envolvidas;
- Expectativa do usuário, especialmente em relação à modelagem integrada e agilidade da análise.

O aperfeiçoamento dos softwares e os avanços tecnológicos na área podem incentivar a utilização de ferramentas digitais de simulação de desempenho da edificação em etapas preliminares do processo

¹ IBPSA (International Building Performance Simulation Association), disponível em: <http://www.ibpsa.org/>. Acesso em: 05 julho 2015.

de projeto. “Em matéria de decisão dentro de um objetivo bioclimático, ‘quanto mais cedo, melhor’ (...)” (DUTREIX, 2010, p.143).

A eficácia das ferramentas de simulação parece convergir para o potencial de verificação do desempenho de diferentes alternativas durante as etapas de concepção, deslocando o foco da função de validação do desempenho da edificação, o que corrobora com os argumentos de Hensen e Lamberts (2011). A possibilidade de incorporar os softwares de simulação às etapas preliminares do projeto abre margem para algumas questões por vezes contraditórias: possível superficialidade dos resultados; oportunidade de simulação contínua ao longo do processo de projeto; resultados com menor caráter corretivo, comuns aos projetos simulados em fase final. Quando analisado desde as fases preliminares, torna possíveis ações específicas, pontuais, incorporadas a etapas intermediárias de decisão.

Deve-se ter ciência de que as ferramentas de análise digital, apesar de eficientes em vários quesitos, se mostram carentes de aperfeiçoamento e demandam constante investimento tecnológico. As ferramentas de simulação não devem ser adotadas quando: (i) o problema puder ser resolvido analiticamente ou por senso comum; (ii) for mais fácil experimentar no objeto real; (iii) o custo for excessivo; (iv) os recursos (dados, equipe, modelo, tempo, financeiro e etc) forem inadequados ou indisponíveis; (v) o modelo não puder ser validado; e, (vi) a simulação ou o modelo forem demasiadamente complexos (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

Quando se pretende trabalhar na edificação que tem por base o desempenho, definem-se, como pontos estratégicos, a explicitação dos requisitos de desempenho e uma proposta de gestão que garanta sua realização através do diálogo entre os atores do projeto (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Neste sentido, compreende-se o potencial do sistema BIM como mediador deste processo, ao fornecer ferramentas capazes de lidar com diferentes parâmetros de desempenho e estrutura metodológica que incentiva o papel colaborativo e participativo dos atores.

Mesmo no sistema BIM, a modelagem tridimensional da edificação elaborada para simulação é diferente da geralmente produzida para concepção ou apresentação. No projeto de uma edificação, o BIM incentiva o deslocamento do foco antes concentrado no resultado final para a atenção com o processo, priorizando os critérios de desempenho de forma geral (SCHEER, 2014). O modelo para simulação pode ser simplificado geometricamente, dispensando ornamentos, mas exige dedicação e precisão na modelagem das informações. Portanto, entende-se que “a qualidade dos resultados da simulação depende da exatidão do modelo” (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

O próximo tópico trata das características e das diferentes maneiras de conexão entre os softwares de análise e aqueles destinados à concepção do projeto arquitetônico.

2.1.3 Softwares de concepção | Softwares de análise ambiental

As conexões entre as diferentes ferramentas de suporte ao projeto arquitetônico tornam-se cada vez mais próximas e compatíveis devido aos avanços tecnológicos referentes à interoperabilidade e ao desenvolvimento de interfaces mais amigáveis e didáticas.

Para este discurso, adota-se o termo *arquitetura digital* para caracterizar a arquitetura contemporânea. O termo *arquitetura digital* refere-se ao processo de concepção baseado em recursos

computacionais como gerador de derivações da forma e suas transformações (KOLAREVIC, 2005). Existem diferentes categorias de projeto digital que se aplicam à arquitetura e influenciam principalmente na criação e edição do modelo tridimensional (SCHEER, 2014). Esta diferenciação se dá principalmente, pela capacidade de parametrização dos dados geométricos ou de informação agregados ao modelo.

O processo de concepção do objeto arquitetônico contemporâneo não se restringe aos recursos do *projeto digital*, nem é limitado por ele. Estas ferramentas apenas ampliam o potencial de interatividade no processo de projeto. Isto nos faz pensar nas possibilidades de inovação resultantes de ferramentas digitais que ampliam o campo de investigação para o tridimensional. Compreender as leis da física aplicadas ao edifício em modelos tridimensionais certamente exigem um nível mais complexo de cálculo e processamento.

Os softwares de análise funcionam, basicamente, como satélites dos softwares de concepção (LECUSSAN, 2015). As informações utilizadas para alimentar os softwares de análise ambiental são oriundas da geometria da construção (representada em duas ou três dimensões) e das especificações técnicas e dados gerais referentes às condicionantes do projeto.

A tabela 3 permite ilustrar as múltiplas conexões estabelecidas entre os softwares de análise ambiental e os de auxílio à concepção, compondo-se, ainda, por uma grade de características específicas e a indicação da integração ao sistema BIM. Para a classificação dos softwares que integram o sistema BIM, utilizou-se como referência, os dados disponibilizados pela Organização *BuidingSMART*² e pelo material específico de divulgação de cada software. As conexões referem-se à capacidade de interoperabilidade entre os softwares, que pode ser unilateral ou bilateral.

Tabela 3 : Características e conexões entre os softwares de auxílio à concepção e os softwares de análise ambiental. Fonte: Elaborado pela autora.

Software de auxílio à concepção				Software de Análise Ambiental			
Dados de identificação		Interoperabilidade		Dados de identificação		Tipo de Conexão	
Software	Desenvolvedor	Import IFC	Export IFC	Software	Software de apoio	Plug-in	IFC
AECOSim Building Designer	BENTLEY			ArchiWIZARD	ArchiCAD REVIT SketchUp		
Allplan	NEMETSCHKE			Green Building Studio	REVIT Architecture		
ArchiBIM	SOLIDEO			FormIt360	REVIT Architecture		
ArchiCAD	GRAPHISOFT			Insight360	REVIT Architecture		
AutoCAD	AUTODESK			Flow Design	REVIT Architecture		
REVIT Architecture	AUTODESK			DIVA	Rhinceros Grasshoper		
Rhinceros	RHINO			Solar Energy Analysis (e outros)	SketchUp		
SketchUp	TRIMBLE						
Vectorworks	NEMETSCHKE						

² Lista de softwares certificados como BIM. Indica o formato e tipologia de troca dos dados (importa ou exporta). Disponível em <http://www.buildingsmart.org/compliance/certified-software/> Acesso em: 21 maio 2015.

Reconhece-se ainda, a emergência de um processo gradativo de integração das ferramentas de análise ambiental ao sistema BIM, como resultado da modelagem digital, do potencial de parametrização entre dados e geometria e, por fim, da interoperabilidade entre softwares e agentes.

2.1.4 Normas e diretrizes

As normas e diretrizes dedicadas ao desempenho do edifício encontram-se, de certa forma, vinculadas a um conjunto maior, dedicado a construções sustentáveis.

No Brasil, temos como referência, desde 1996, a série de normas de gestão ambiental nas empresas ISO 14000 da International Standardization Organization – ISO, organização na qual o país é representado através da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. As normas ISO colaboraram para a elaboração dos sistemas de qualificação e certificação ambiental, que contam com uma série de ferramentas de quantificação dos pressupostos da sustentabilidade do projeto ou da edificação. Atualmente existem mais de 20 ferramentas baseadas nas normas ISO (WASSOUF, 2014, p.12-13). A tabela 4 apresenta algumas destas ferramentas.

Tabela 4 : Ferramentas de avaliação ambiental na construção adotadas por alguns países. Fonte: Adaptação de Wassouf (2014, p.13).

Alemanha	Brasil	México	Canadá	EUA	Finlândia	Reino Unido	França	Portugal
DGNB	LEED Brasil	LEED México	LEED Canadá	LEED	PromisE	BREEAM	HQE	Lider A
BNB	AQUA		Green Globes	Green Globes				

Além de diretrizes gerais e orientadoras, tem aumentado o número de pesquisas direcionadas para um suporte técnico à elaboração, atualização e adequação das Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) relacionadas a construção civil. Cita-se o exemplo, das normas dedicadas à eficiência energética nas edificações, como a NBR 15220 – desempenho térmico de edificações – aprovada em 2005, revisada em 2008; e a NBR 15575, válida a partir de julho de 2013, que estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais (ABNT, 2005; ABNT, 2013).

No mesmo sentido, adaptada às características brasileiras, a certificação AQUA, que objetiva “promover e reconhecer a Alta Qualidade Ambiental do ambiente construído”, tem com referência, a certificação francesa Haute Qualité Environnementale – HQE (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2010). Faz-se necessário salientar que, de acordo com o documento *Synthèse d’informations de l’Envirobot Centre*³ datado de junho de 2015, a publicação do artigo “HQE : Les 14 cibles sont mortes. Vive le cadre de reference du batiment durable”, indica que o método francês HQE pode sofrer atualizações que

³ Synthèse d’informations de l’Envirobot Centre. Disponível em: http://www.envirobotcentre.com/upload/document/syntheses_d__info/2015/juin_2015/FILE_5571adb844420_si__juin_n on_adherents.pdf/si__juin_non_adherents.pdf?PHPSESSID=ec8eee73dcdcd0ea4b5424bb55b542d6. Acesso em: 21 julho 2015.

propõem a revisão dos reconhecidos 14 alvos. Esta alteração deve, em breve, refletir na certificação AQUA adotada no Brasil.

Sob a orientação do Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial –, está disponível a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edifícios. Esta define requisitos e métodos para classificação de edifícios quanto à eficiência energética, abrangendo edifícios comerciais, de serviços e públicos desde o ano de 2009 e residenciais desde 2010.

São, portanto, referenciais a serem adotados para o desenvolvimento do projeto. Contudo, vale ressaltar que ainda há inconsistências e incompatibilidades entre estes referenciais, o que exige sistemática revisão e atualização. Demandam, assim, atenção e senso crítico por parte do projetista e dos agentes envolvidos no processo de projeto.

2.1.5 Reflexões

A partir das argumentações apresentadas, torna-se possível elaborar algumas reflexões. O entendimento do espectro de aplicabilidade das ferramentas digitais de análise vinculadas ao projeto arquitetônico deve contribuir para a compreensão geral da tese.

A ferramenta digital, por mais precisão que possa alcançar na reprodução do ambiente real e suas condicionantes, não é capaz de garantir a eficiência do edifício, pois mesmo que exista uma aproximação da simulação com o real, o desempenho final é diretamente vinculado ao usuário, seus hábitos e ações. Decerto, a simulação considera estimativas baseadas nas atividades do usuário, tipologia e horários de uso do ambiente, mas os resultados não devem ser entendidos como previsões e, sim, como dados passíveis de comparação com outras alternativas.

Deve-se reconhecer a incerteza da simulação e considerar o conhecimento adquirido - a experiência profissional de quem conduz a análise - nos momentos de decisão (HAZELRIGG, 2008). A ciência cognitiva é determinante para a compreensão dos mecanismos da mente responsáveis pelo processo de pensamento e, portanto, no processo de escolhas e decisões. Os estudos de William Chase e Herbert Simon em 1973 relatados por Shenk (2007, p.131-138), colaboraram de maneira significativa para os avanços da ciência cognitiva, baseados na dinâmica dos enxadristas, já comprovava a importância do conhecimento adquirido nos momentos de tomadas de decisão diante de problemas com diversas variáveis.

Diferentes estratégias de investigação podem ser utilizadas nos momentos de tomada de decisão durante o processo de projeto do objeto arquitetônico. O processo de tomada de decisão exige uma abordagem capaz de considerar múltiplos critérios. Quando se trata de projetos preocupados com o desempenho da edificação, alguns desses critérios podem ser analisados através de ferramentas digitais de simulação, incentivando a experimentação de diferentes alternativas projetuais (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Portanto, estratégias de análise multicritério merecerão atenção específica nas próximas etapas desta pesquisa.

Apesar das fragilidades inerentes a tipologia de ferramentas digitais relatadas neste capítulo, destaca-se o potencial dos softwares, como ferramentas capazes de trabalhar a informação que se mostra como insumo das tomadas de decisão ao longo do processo de projeto arquitetônico. Os avanços

tecnológicos dedicados à modelagem tridimensional, à parametrização de dados e à interoperabilidade, incentivam a conexão e a aproximação dos softwares de análise aos softwares de auxílio à concepção.

2.2. Tomada de Decisão | Componentes Cognitivos

Este texto aborda a problemática da tomada de decisão no processo de concepção do projeto arquitetônico na era digital. Concentra-se na investigação dos mecanismos cognitivos inerentes à maturação do problema e na dinâmica de encadeamento de decisões projetuais frente, especialmente, ao compromisso com o desempenho ambiental.

Adotou-se como estratégia, a investigação dos métodos de auxílio à decisão, especificamente aqueles capazes de lidar com problemas complexos. O estudo resgata na ciência cognitiva, o embasamento dos métodos de escolha e estratégias de resolução de problemas. Tem como principal objetivo, encontrar suporte teórico para a organização lógica do processo de decomposição proposto para a etapa de experimentação desta tese.

2.2.1 Ciência Cognitiva | Solução de Problemas

Com o advento das ferramentas digitais incorporadas ao processo de projeto arquitetônico, tornou-se necessário lidar com um número crescente de informações, critérios e variáveis. A mente humana tem diferentes recursos para lidar com a solução de problemas e o campo da ciência cognitiva pode colaborar para a compreensão dessas estratégias.

Este texto resulta, em parte, dos fundamentos da ciência cognitiva e da ciência de modelos matemáticos, ambos comprometidos com a solução de problemas e definição de escolhas.

A primeira publicação sobre o tema foi o livro *Cognitive Psychology* organizado por Ulrich Neisser em 1967. O texto sintetizou os avanços científicos do ponto de vista da Teoria do Processamento da Informação e estruturou a noção de conhecimento, “que seria desenvolvido individualmente por meio de códigos cognitivos, tornando-nos hábeis a trabalhar, tomar decisões etc (...)” (NEUFELD, 2011, p. 103).

Entre 1950 e 1970, a psicologia concentrou esforços na compreensão dos “processos mentais internos”, dedicando-se ao estudo dos seguintes temas: memória, atenção, resolução de problemas, percepção, inteligência, tomada de decisão e processamento e linguagem. Este período marca o surgimento da maioria dos modelos de processamento e métodos de pesquisa, e é conhecido como “revolução cognitiva” (KLEINMAN, 2015, p. 79). Em paralelo, na mesma época, a ciência da computação dedicava-se a pesquisas sobre Inteligência Artificial e Cibernética (VASCONCELLOS, 2015). Modelos matemáticos foram estabelecidos para que os problemas pudessem ser solucionados com o uso de máquinas. Eram derivações das teorias de Alan Turing, responsável pela invenção do computador no fim da Segunda Guerra Mundial (PICON, 2010, p. 24).

A convergência e o avanço simultâneo destes dois campos científicos apresentam-se como fundamentais para as teorias de análise, simulação, interpretação, processamento e tratamento de informações que utilizamos na atualidade. Destaca-se que este processo é inerente ao comportamento humano e um mecanismo mental que, por vezes, pode ser executado por meios digitais.

Fundada como interdisciplinar, a ciência cognitiva originou-se a partir do trabalho de cientistas de diferentes áreas (psicologia, neurologia, linguística, sociologia e antropologia), que se debruçaram sobre os estudos acerca do funcionamento da mente. Contudo, foram principalmente os psicólogos que se dedicaram ao exercício de observação das estratégias de decisão dos enxadristas mediante aos múltiplos problemas impostos durante o jogo de xadrez (SHENK, 2007, p.128-154).

Em 1973, Willian Chase e Herbert Simon, utilizaram diferentes grupos de enxadristas como objeto de estudo dos experimentos para comprovar a hipótese de que “a capacidade para o xadrez dependia em grande parte do que os jogadores já conheciam – e não da quantidade de dados novos que eles podiam lembrar” (SHENK, 2007, p.134). O xadrez foi considerado por Chase e Simon, como o modelo ideal de laboratório para os experimentos dos cientistas dedicados à psicologia cognitiva. “Seus atributos tornavam-no particularmente apropriados para os cientistas que procuravam decifrar questões sobre tomadas de decisão, atenção e consciência” (SHENK, 2007, p.134).

Através de analogias, pode-se, por exemplo, construir um paralelo entre a dinâmica de tomada de decisões no processo de projeto arquitetônico e no jogo de xadrez. Para tanto, definem-se como principais fontes bibliográficas, as publicações de Kleinman (2015), Shitsuka et al (2004) e Shenk (2007), lançada originalmente em 1966 e posteriormente traduzida.

2.2.2 O Problema Sob a Ótica da Arquitetura

O “problema” é o elemento chave desencadeador de um processo que demanda a tomada de decisão. Sob a ótica da psicologia cognitiva, o “processo mental de resolução de problemas consiste em descoberta, análise e solução (...)” (KLEINMAN, 2015, p. 81-82). O processo de resolução de um problema não é rígido e nem linear mas, em síntese, deve em algum momento, passar pelas seguintes etapas: identificação do problema, definição do problema, identificação das limitações, elaboração da estratégia de abordagem, organização das informações, alocar recursos mentais e físicos, monitorar o progresso e avaliação dos resultados.

Geoffrey Broadbent e Horst Ritte remetem a Simon (1969) em sua analogia ao jogo de xadrez, onde defendem a atualização progressiva do ‘espaço’ do problema, que é redefinido a cada etapa, pensando cada jogada em função apenas das consequências por ela determinadas. Em um processo constante de realimentação – *feedback* – corrigindo os desvios para alcançar o resultado estabelecido como meta (VASCONCELLOS, 2015, p.213). Contudo, a melhor jogada a cada passo não garante a vitória ao final da partida. Portanto, a estratégia adotada para a busca de soluções está diretamente vinculada à característica do problema.

Existem, no entanto, duas categorias de problemas: os bem definidos e os mal definidos. Enquanto os problemas bem definidos têm objetivos claros e são passíveis de métodos diretos, os problemas mal definidos não são possíveis de se solucionar com o uso de uma fórmula específica e podem exigir uma

combinação de estratégias para as etapas de investigação de acordo com (KLEINMAN, 2015, p. 83). Os problemas mal definidos envolvem diferentes objetivos, podendo resultar em mais de uma solução e, por consequência, são considerados de difícil definição (SIMON, 1996). No seio desta tipologia de problema existe uma inter-relação entre os diferentes objetivos, onde o favorecimento de um deles interfere, positiva ou negativamente, em cada outro objetivo considerado na equação. A resolução requer dedicação a fim de melhor compreender o problema e provavelmente, a redução de sua extensão tornando possível sua interpretação.

Na prática do projeto arquitetônico, nos deparamos frequentemente com problemas da classe dos considerados, “mal definidos”. Característica resultante talvez, do número de variáveis, condicionantes e prioridades mutáveis ao longo do processo de projeto, o que expõe os elementos em questão, por vezes, a posições conflitantes (SIMON, 1984). É comum nos depararmos à situação semelhante no processo de escolha de uma, aparentemente simples, esquadria. Onde existem diferentes níveis de prioridade para: dimensionamento, características técnicas, resposta às condicionantes climáticas, eficiência térmica, luminosa, visual, acústica, olfativa, custo, execução e quantos outros mais forem necessários considerar.

Buchanan (1992) ao resgatar o conceito de ‘problema fraco’ ou ‘*wicked problem*’ afirma que o problema sempre pode ser reformulado. Para lidar com esta classe de problemas, o arquiteto precisa se posicionar, tomar para si a responsabilidade das decisões durante o processo de projeto e também sobre o resultado deste. O ciclo de resolução de um problema pressupõe um processo de constante reavaliação e reformulação, o que acaba por colaborar para a construção do conhecimento. “Na medida em que avançamos no processo de concepção e que começamos a construir as primeiras respostas aos problemas, sobrevém na grande parte das vezes uma reconstrução de problema que inicialmente estava mal definido” (SILVA; OLIVEIRA; SCALETSKY, 2005, p.491).

Sabe-se que o processo de projeto arquitetônico dispõe de inúmeras estratégias auxiliares à concepção, mesmo o projeto digital, que é em grande parte articulado através de ferramentas digitais, não seja dissociado de outras ferramentas comuns ao arquiteto, como diagramas, esquemas, métodos de síntese, *brainstorm*, maquetes etc. Este conjunto de recursos, sejam digitais ou não, configuram-se como estratégias cognitivas de resolução de problemas, essenciais ao mundo do arquiteto (KLEINMAN, 2015, p.83).

2.2.3 Articulação e Decomposição do Problema

A decomposição do problema em subproblemas apresenta-se como uma estratégia, que pode auxiliar na sua simplificação, conduzindo as partes a um estágio de problema bem-estruturado. A “divisão do problema” é geralmente adotada para o desmembramento de problemas complexos, acreditando que estes poderiam ser abordados de maneira mais simples se estivessem subdivididos (SIMON, 1984). Esta estratégia se aplica à “Teoria das Árvores” que fora, por um tempo, adotada, tanto por pesquisadores no campo da computação, quanto da arquitetura.

Em meados de 1950, no universo dos jogos de xadrez, as múltiplas decisões possíveis na solução de um problema compunham a árvore do jogo (figura 5), proposta pela lógica *minimax* de John von Neumann. O *minimax* era um método para se “escolher o lance menos ruim entre todos os possíveis” (SHENK, 2007, p.211). A infinidade de opções, praticamente inviabilizava o processo de análise. Em

1956, John McCarthy apresentou, “o alpha-beta pruning, que permitia ao computador ignorar certas folhas de uma árvore cujas avaliações não fariam diferença no final” (SHENK, 2007, p.212), sendo a partir de então, capaz de estabelecer prioridades. Os avanços na programação de algoritmos não pararam desde então.

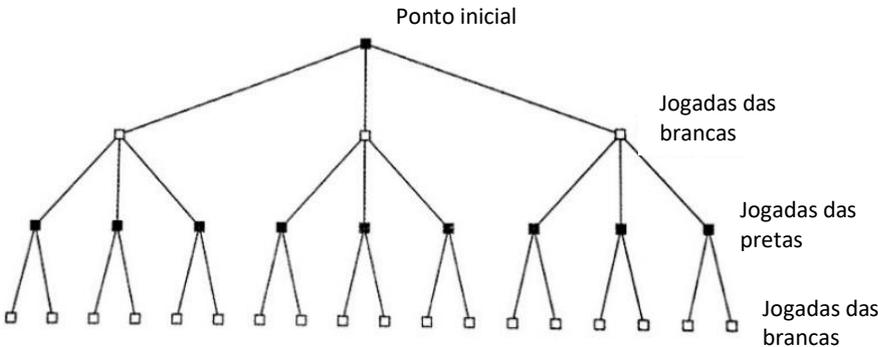


Figura 5 : árvore do jogo de John von Neumann. Demonstração gráfica das possíveis opções resultantes da movimentação de uma peça. Fonte: Adaptado de Shenk (2007, p.210).

A mesma lógica de desmembramento de opções e análise dos padrões está ilustrada por Christopher Alexander (figura 6), no texto “A city is not a tree” publicado em 1965. O texto de Alexander (1965) remete a uma das questões centrais a serem discutidas a respeito das estratégias de decomposição do problema. O método da árvore era “(...) o veículo mais fácil para pensamentos complexos”; no entanto, como exposto no texto acima indicado, Alexander defende a ideia de que observar a cidade por este método seria o mesmo que propor uma análise reducionista, sob o risco de ignorar a relação entre os seus “galhos” (regiões, bairros, ruas, casas, ambientes) e a sobreposição de seus significados (ALEXANDER, 1965).



Figura 6 : árvore de representação das vias da cidade brasileira planejada por Lucio Costa - Brasília. Fonte: Adaptada de Alexander (1965).

Desde as reflexões de Alexander (1965) e Simon (1969), existe um extenso campo de pesquisa disponível sobre os temas relacionados aos métodos de concepção arquitetônica e às estratégias de solução de problemas inerentes ao processo de projeto, que são geralmente complexos.

Uma dessas estratégias é a denominada análise multicritério e configura-se como um método de apoio à decisão. “Na arquitetura, a abordagem multicritério pode ser usada para comparar diferentes soluções para um problema de projeto, considerando simultaneamente diversos critérios, com a intenção de identificar uma solução de compromisso” (FONTENELLE E BASTOS, 2014, p.96). Ressaltando que, no processo de projeto arquitetônico, o processo de decisão tem dimensão complexa em razão da existência de preocupações em diferentes níveis de importância, capazes de gerar respostas frequentemente contraditórias (VINCKE, 1989).

A tomada de decisão com base na análise multicritério tem sido recorrente objeto de pesquisa no campo da arquitetura e das engenharias (HENSEN E LAMBERTS, 2011). No processo de concepção arquitetônica, quando se trata do desempenho do edifício, o conflito é eminente em razão da impossibilidade de se satisfazer todos os critérios simultaneamente (CASTRO, 2005, p. 17-18). Tome-se o exemplo de uma abertura na envoltória do edifício que, ao mesmo tempo, permite entrada de luz, carga térmica, ruído, relação visual com o entorno etc. Privilegiar o desempenho de um dos elementos o expõe ao risco de prejudicar outros.

Corroborando com esta ideia, “a abordagem multicritério é um caminho bastante útil para compatibilizar múltiplos critérios, podendo contribuir para uma tomada de decisão mais consistente na concepção arquitetônica” (FONTENELLE E BASTOS, 2014, p.96). A capacidade de geração de resultados de múltiplas alternativas de um mesmo objeto estudado permite a elaboração de um cenário comparativo e colabora para a escolha, através de ferramentas multicriteriais em um processo de decisão que pode considerar diferentes níveis de hierarquia para cada critério envolvido, como demonstra Fontenelle e Bastos (2014, p.101-103).

O método dispõe de duas etapas iniciais de estruturação do problema; a primeira refere-se à “definição do conjunto das ações potenciais que serão consideradas no processo de decisão” e a segunda trata da escolha dos critérios. As etapas subsequentes incorporam o ato de julgar as soluções e eleger as soluções mais bem avaliadas (CASTRO, 2005, p. 19).

Assume-se, portanto, como premissa, que o problema na arquitetura tende, portanto, a assemelhar-se a uma trama, um emaranhado de elementos conectados em múltiplos sentidos. Mas não deve se tratar, no entanto, de um somatório de suas partes.

“A soma das partes é insuficiente para se conhecer o todo”, baseando-se no argumento de que “o todo pode ser maior ou menor que o somatório de suas partes”, sendo: (i) “o todo é mais que a soma das partes”, ao interagir com o contexto e influenciado por ele; (ii) “o todo pode ser menor que a soma das partes”, ao considerar que as partes podem não conseguir atuar em sua completude (MORIN, 2006, p.85). “O perigo das inconsistências ou lacunas desse processo é minimizado em parte pela habilidade do arquiteto e sua capacidade de construir o problema, o que depende de sua formação e experiência profissional, além de sua capacidade para organizar o processo (...)” (SANTOS, 2012, p. 47).

Na contemporaneidade, tais questões permanecem no núcleo do pensamento cognitivo que, atualmente, entrelaça três principais pressupostos da ciência: (i) complexidade, (ii) instabilidade e (iii) intersubjetividade.

2.2.3.1 Complexidade

Em meados dos anos 1980 dois eventos marcam o interesse pelo estudo do pensamento complexo de maneira sistemática e interdisciplinar. Em 1983, o debate sobre *O problema epistemológico da complexidade* em Lisboa – Portugal –, e em 1984, o colóquio sobre as *Teorias da Complexidade* em Cérisy – França –, contaram com a participação de especialistas de diversas áreas (VASCONCELLOS, 2013). Neste período, o médico e biólogo Henri Atlan e o filósofo Edgar Morin se destacaram no debate sobre o pensamento complexo.

O texto de abertura do colóquio em Cérisy baseia-se na reflexão acerca da transitoriedade do entendimento do termo *complexidade*, que aos poucos deixa de representar algo difícil de compreender e torna-se algo a ser abordado e estudado sistematicamente (ATLAN, 1984).

O pensamento complexo propõe que das partes surge a necessidade de explicação mais aprofundada, distanciando o raciocínio das estratégias de simplificação. Entende-se que o princípio da complexidade se baseia na necessidade de distinguir, de analisar, com o propósito de estabelecer a conexão entre as diferentes partes de um todo – o objeto e o ambiente, a coisa observada e seu observador – evitando dissociá-las, abordando o objeto em seu contexto (MORIN, 2006). Ou seja, “(...) um pensamento complexo que permita abordar as contradições, em vez de excluí-las” (VASCONCELLOS, 2013, p. 107).

Portanto, o pressuposto da complexidade na ciência contemporânea estabelece “o reconhecimento de que a simplificação obscurece as inter-relações de fato existentes entre todos os fenômenos e de que é imprescindível ver e lidar com a complexidade em todos os seus níveis” (VASCONCELLOS, 2013, p. 101).

2.2.3.2 Instabilidade

Reconhecer cientificamente a desordem exige uma maneira de pensar que inclui os pressupostos de indeterminação e imprevisibilidade. O conceito de instabilidade assume um “mundo em *processo de tornar-se*, em transformação contínua e formado por constante auto-organização” (VASCONCELLOS, 2013, p.119).

“A tomada de decisão é, por si só, um processo de aprendizagem. Apesar de haver uma resposta certa agora, ela pode ser errada amanhã devido a mudanças nas condições que cercam a informação e que afetam a decisão” (SIEMENS, 2004). Portanto, com o reconhecimento da *instabilidade* do mundo com base nas ciências físicas, “admite-se a *imprevisibilidade* e a *incontrolabilidade* de muitos eventos, em todos os níveis da natureza” (VASCONCELLOS, 2013, p.129).

2.2.3.3 Intersubjetividade

A *Intersubjetividade* emerge no campo da filosofia em proposta de revisão do pressuposto da objetividade científica, mas é apenas no seio da própria ciência, na física, que este debate assume caráter científico. O centro do debate está na relação entre “o sujeito que conhece e o objeto que é conhecido”. Em síntese, o físico alemão Heisenberg demonstrou “ser impossível a observação objetiva das partículas atômicas, uma vez que o próprio ato de observação interferia e alterava o objeto (...)” (VASCONCELLOS, 2013, p.132-133).

Inclusive no âmbito da Arquitetura deve-se reconhecer a possibilidade de coexistência de múltiplas versões da realidade, cientes de que cada observador poderá construir uma realidade própria sobre o mesmo elemento observado (VASCONCELLOS, 2013, p.101). Diante desta relação interdependente entre observado e observador, destaca-se como primordial a responsabilidade e o comprometimento com objetivos comuns à equipe composta por diferentes agentes imersos em um mesmo processo de concepção.

De certa maneira, assim como em outras áreas, “a imagem é um gatilho para as experiências se unirem”, como afirma o ilustrador Christoph Niemann na série *Abstract: the art of design*. Seja analógica ou digital, a imagem para o arquiteto, é uma ferramenta de linguagem, de comunicação (CASTELLS, 2012), capaz de transmitir uma ideia de um observador ao outro. Ainda assim, entende-se que a mesma informação será percebida por cada observador de maneira própria e individual.

2.2.4 Reflexões

Entende-se que os métodos de análise e apoio à decisão não dependem e não se restringem às ferramentas digitais e, diante disso, acredita-se que tais ferramentas, devem ser capazes de colaborar com a prática de uma ou mais metodologias. Diversos métodos se aplicam à pesquisa científica e objetivam auxiliar na solução de problemas através de técnicas de decisão. A apresentação de alguns dos métodos no corpo desta pesquisa tem por intenção, a procura de subsídios teóricos para viabilizar sua aplicabilidade em parte ou integral, exclusiva ou conjunta, no exercício de investigação proposta e exposta no Capítulo III.

“Uma das consequências do pensamento complexo é que, em vez de pensar a compartimentação estrita do saber, passa-se a focalizar as possíveis e necessárias relações entre as disciplinas e a efetivação de contribuições entre elas, caracterizando-se uma interdisciplinaridade” (VASCONCELLOS, 2013, p.114). Diante do processo de concepção arquitetônica, envolvendo uma multiplicidade de agentes, parâmetros, critérios, condicionantes e níveis de hierarquia, destaca-se a importância do aprofundamento do estudo a respeito das técnicas de decomposição a serem propostas para o modelo geométrico e seus atributos, vinculados por parâmetros no sistema BIM.

Acredita-se que a modelagem tridimensional associada a parametrização pode auxiliar na visualização do emaranhado, da trama de informações, principalmente se for capaz de visualizar as partes conectadas ao todo, se diferenciação ou dissociação, respeitando as relações, entre as partes e o todo, propostas por Morin (2006). Os pressupostos da complexidade, instabilidade e intersubjetividade, embasam a postura da autora no papel de observadora diante do elemento estabelecido como objeto de estudo. Desta forma, define-se como pré-requisito para o objeto de estudo, a condição de projeto

finalizado. Pois, entende-se que, nesta fase, já existe uma trama de informações conectadas capazes de proporcionar oportunidade de avançar na investigação tanto no sentido da composição quanto de sua decomposição.

2.3. BIM | Diálogo com o Desempenho Ambiental

Investigar a dinâmica de funcionamento do sistema *Building Information Modeling* – BIM, configura-se como oportunidade para compreender possíveis maneiras de se articular os requisitos ambientais desde as etapas preliminares de projeto arquitetônico.

“A utilização do BIM como sistema de apoio à concepção e visualização do projeto é uma importante e atual tendência verificada na indústria da construção civil” (KIBERT, 2013). Acredita-se que a progressiva integração dos softwares de análise ambiental ao sistema BIM, deva modificar sensivelmente a maneira de se incorporar o estudo de questões ambientais ao projeto de arquitetura. Espera-se um processo mais dinâmico relacionado com as questões e exigências ambientais, com permutas constantes de dados e informações, proporcionando condições favoráveis ao desenvolvimento de projetos arquitetônicos de maior desempenho ambiental.

2.3.1 Building Information Modeling - BIM

Inicialmente, deve-se compreender a gênese do termo e a evolução do significado de “*Building Information Modeling*”, ou seja, o BIM. Por vezes, a origem deste termo vem associada ao “*building product model*”, empregado por Charles M. Eastman em suas publicações, desde o final dos anos 1970 (KUBBA, 2012). Contudo, apesar de semelhanças linguísticas e teóricas, o BIM foi reconhecido como tal apenas quinze anos mais tarde. O surgimento do BIM em 1995, como resultado de “um movimento internacional em favor de novas ferramentas colaborativas e da criação de um formato único de troca de dados, o formato IFC” (MAURY, 2015, p.89-90). A organização responsável por este movimento foi a *International Alliance for Interoperability* - IAI, atualmente reconhecida como *Building SMART*.

Tanto a informação agregada ao modelo digital do edifício, quanto a sua forma de compartilhamento, são elementos determinantes para a compreensão do sentido primário do BIM. Após duas décadas, o significado e a aplicabilidade do BIM se expandiram (figura 7), compreendendo “a gestão do modelo tridimensional digital e das modalidades de trocas de dados e informações entre os agentes envolvidos” (PIERREFEU, 2015, p.91). Contudo, a troca livre de dados através do formato IFC ainda não é dominante.

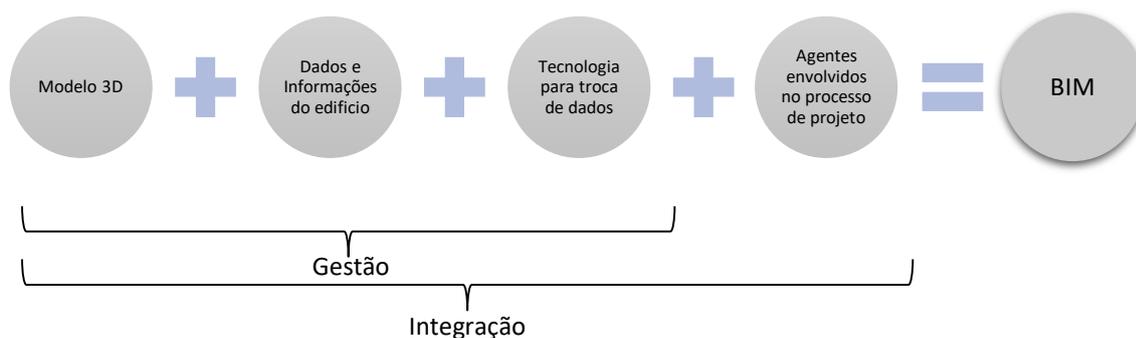


Figura 7 : Síntese ilustrada dos elementos que, atualmente, determinam o sistema BIM. Fonte: Elaborado pela autora.

Atualmente, a compreensão do sentido e da aplicabilidade do BIM se estende desde a estrutura de um software a um conjunto de ações que impactam no processo de trabalho dos projetistas.

De maneira mais abrangente, compreende-se o BIM como uma estrutura integrada de trabalho, capaz de associar concepção, execução e gestão do edifício e de seus elementos. Portanto, pode-se considerar o BIM como “(...) um processo de trabalho e de colaboração entre agentes de um projeto em construção, com base em ferramentas específicas que permitem o desenho e a operação de um modelo digital, simulando o edifício como construído e operante” (CELNIK, 2015).

O “modelo de concepção e construção virtual” é estabelecido por intermédio de um conjunto de modelos tridimensionais, parametrização dos dados desta modelagem e as informações fornecidas pelo usuário. Portanto, segundo estes autores, o BIM é considerado “um banco de dados digital, com estrutura integrada, informado pela arquitetura, engenharia, construção e indústria de operações, que consiste em objetos paramétricos em 3D e que permitem a interoperabilidade” (KENSEK; NOBLE, 2014).

Quando considerado como uma modelagem tridimensional, o BIM é incorporado com informações relacionadas ao tempo, espaço e especificações que são cada vez mais comuns e “permitem um maior grau de coordenação entre estrutura, serviços e a envoltória da edificação” (LOVELL, 2010). O sistema proposto pelo BIM incentiva a constante realimentação de informações entre os agentes envolvidos, colaborando para um perfil ativo e participativo da equipe de projeto.

A quantidade de informações referentes a um projeto tende a crescer de acordo com o nível de complexidade técnica ou formal do edifício. Os profissionais estão se especializando cada vez mais, e esta fragmentação da informação e do saber, concorre para um distanciamento da visão de complexidade, que é necessária para o projeto. A sobreposição de camadas dos diferentes projetos de: estruturas, elétrico, hidráulica, climatização, paisagismo, segurança, automação, acessibilidade etc, geram interações complexas e sugerem, de acordo com o autor acima, “a necessidade de uma abordagem integrada para a concepção” (KRYGIEL, 2008, p.54-55). Os problemas aparecem quando as informações recolhidas das várias fontes não se encontram suficientemente integradas. O adequado gerenciamento destas informações é determinante para minimizar o tempo e o custo nas etapas de execução (KUBBA, 2012).

A migração dos métodos tradicionais de CAO (concepção assistida pelo computador) como o CAD, para o método mais dinâmico e integrador como o BIM, é gradativa e tende a favorecer a compatibilização

deste conjunto crescente de informações sobrepostas (KRYGIEL, 2008, p.54-55). Mas, isto depende também, de investimentos em formação e capacitação profissional da equipe de trabalho. Para rastrear, avaliar e acompanhar este processo de transição, Celnik e Lebègue (2015) apresentam um quadro comparativo (tabela 5) com os gradativos índices de maturidade das práticas de CAO, que podem ser utilizados como referência em diversos países em que essa prática vem ocorrendo.

Tabela 5 : Níveis de maturidade das práticas CAO (concepção assistida pelo computador). Fonte: Celnik e Lebègue (2015, p.44).

NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
CAO básico	CAO 2D >> 3D	BIM	iBIM
Uma simples criação assistida pelo computador, sem dados em 3D, unicamente com desenhos tradicionais.	CAO 2D com interatividade 3D, sendo que o 3D é utilizado somente para visualização. Os modelos elaborados, não têm dados uteis que podem ser compartilhados com outros membros da equipe de projeto.	Os modelos 2D e 3D são inteligentes e contêm informações ricas e interativas.	iBIM ou BIM são integrados: são modelos muito ricos em informação, que compreendem os dados necessários à gestão da vida da obra após sua construção.

As ferramentas digitais em questão, quando empregadas no projeto, em especial naqueles dedicados ao compromisso ambiental, tendem a estabelecer um novo paradigma. Em síntese, o princípio do sistema BIM é a elaboração do projeto com base em um modelo tridimensional único capaz de concentrar diferentes informações técnicas e geométricas do projeto, podendo ser acessado por qualquer dos agentes, em qualquer etapa do projeto, inclusive durante a vida útil do edifício construído. Esta estrutura incentiva um processo integrado e colaborativo entre os diferentes agentes desde as fases iniciais, o que tende a colaborar para enfrentamento dos desafios da concepção projetual contemporânea. Neste processo, uma equipe de arquitetos, engenheiros e especialistas que inclui proprietários e futuros ocupantes do edifício, deve participar de maneira colaborativa desde as etapas iniciais de concepção (KIBERT, 2013).

A estrutura do diagrama de síntese (figura 8), apresentado a seguir, baseia-se nos conceitos e argumentos apresentados neste texto, em consonância com diversos autores – Kubba (2012), Celnik e Lebègue (2015), Kibert (2013) e Krygiel (2008). Considerando que o BIM, mesmo enquanto processo, é estruturado a partir de um modelo geométrico digital que permanece integrado à tecnologia de um diverso conjunto de banco de dados parametrizáveis, entende-se que o funcionamento deste sistema se dá através de softwares interoperáveis gerenciados pelos computadores dos projetistas envolvidos. Sendo assim, os arquitetos, engenheiros e/ou empreiteiros têm poder de ação e decisão sobre o processo de concepção. Os dados resultantes de análises e simulações técnicas (estrutural, ambiental, custos, ciclo de vida e etc), funcionam como *feedbacks*, que realimentam o sistema a cada etapa e auxiliam como informação determinante nos momentos de tomada de decisão.

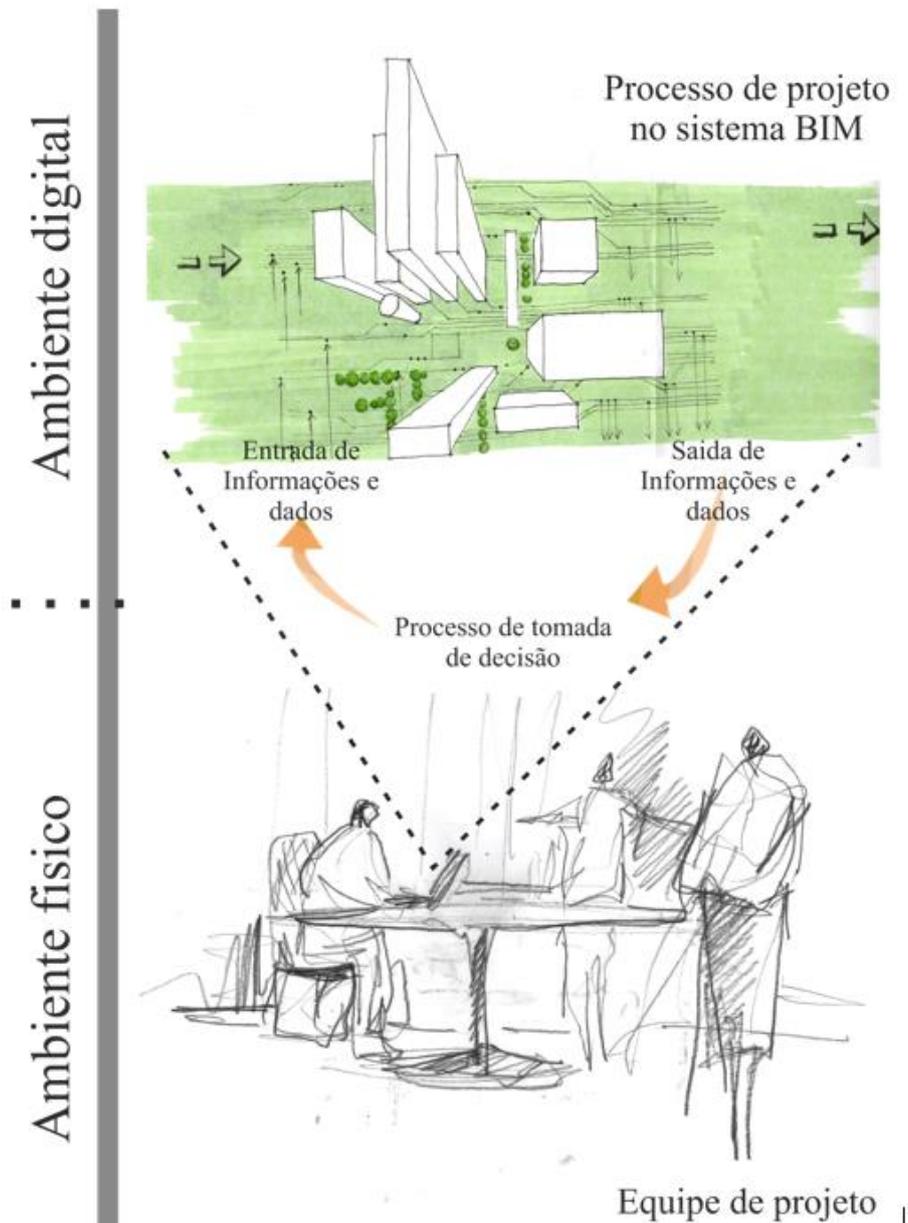


Figura 8 : Síntese do processo de projeto sustentável mediado pelo BIM. Fonte: Elaborado pela autora com colaboração de J. A. Petrillo (equipe de projeto - grafite sobre papel).

Após a construção de todo este panorama aparentemente favorável e proporcionado pelo BIM aos projetistas, Szalapaj (2005) destaca o fato de que o computador é, inevitavelmente, controlado por pessoas. Toda essa estrutura digital, com enorme potencial, depende diretamente da ação, da ordem, da programação, da decisão do homem. Mesmo que o processo de projeto seja intensamente mediado através de recursos digitais, é o projetista o responsável pelas decisões adotadas ao longo do percurso. Portanto, entende-se que a elaboração do projeto baseado em um modelo tridimensional agregado à informação irá se constituir numa oportunidade para reafirmar os vínculos entre as ferramentas digitais de análise e de modelagem, objetivando, por fim, estreitar as relações entre concepção e desempenho.

2.3.2 Diálogo entre Processo e Ferramenta

Seria possível dissociar “processo” e “ferramenta” no sistema BIM? Certamente não, diriam os especialistas. Em síntese, existem mais dois níveis de apropriação do acrônimo BIM além de *Building Information Modeling*: (i) *Building Information Model*; e, (ii) *Building Information Management* (HOYET et al, 2016):

- *Building Information Model* refere-se ao modelo geométrico digital, ou seja, um sistema de representação em três dimensões modelado a partir de uma base de dados específica para cada um de seus componentes (HOYET et al, 2106).
- *Building Information Management* corresponde “ao estabelecimento de uma plataforma colaborativa que organiza os intercâmbios e controla o compartilhamento das informações entre os atores ao longo do processo” (HOYET et al, 2106).

A ferramenta é denominada *maquette numerique*, ou seja, maquete digital, que equivale ao modelo geométrico digital elaborado em um determinado software (PIERREFEU, 2015, p. 37). O potencial destas ferramentas está na capacidade de modelagem paramétrica, que garante a autonomia e operabilidade pelo usuário, mas ainda depende das empresas desenvolvedoras no que tange a interoperabilidade (EASTMAN et al, 2014, p. 43).

Sendo *Building Information Modeling* “o processo de trabalho no qual se utilizam essas ferramentas, em um esforço conjunto para a elaboração de uma base de dados do projeto e de troca dessas informações entre os agentes” (CELNIK, 2015, p. 37), a ferramenta é um instrumento.

Diante disto, o título desta tese “*A Análise Ambiental em Diálogo com a Ferramenta BIM*” reflete a intenção de estabelecer o recorte em torno da ferramenta deste sistema, entendendo-a como um instrumento do processo como um todo.

2.3.3 Ferramentas de Análise Ambiental e os Desafios da Tomada de Decisão no Sistema BIM

A elaboração de um projeto arquitetônico por si só é um constante processo de escolha diante de demandas concorrentes ou conflitantes e fundamenta-se na priorização de determinados aspectos em detrimento de outros (BITTENCOURT, 2015, p.38). Cada vez mais complexo em razão do crescente número de elementos e condicionantes projetuais articulados por diferentes agentes, o processo de projeto requer estratégias capazes de sistematizar tanto o universo crescente de informações quanto o próprio processo de decisão.

O desafio de se incorporar estratégias de análise ambiental ao processo de projeto arquitetônico, mostra-se cada vez mais presente. Os recursos de modelagem tridimensional, parametrização e interoperabilidade, quando associados, podem favorecer a incorporação da ferramenta de análise à concepção do projeto, e ainda, se estender às demais etapas de execução e uso/atividade.

O uso de ferramentas digitais em etapas preliminares do processo de projeto arquitetônico pode ser considerado como uma prática recente. Softwares com plataformas mais amigáveis e algoritmos simplificados demandam menor tempo de processamento e podem ser utilizados em fases preliminares do projeto. Os resultados são geralmente parciais e dependem diretamente da habilidade do profissional de interpretá-las e incorporá-las ao conjunto de informações do projeto. A questão central está no fato de que a análise ambiental não se restringe mais ao caráter retificador ou corretivo pressuposto quando a investigação ocorre depois do projeto aparentemente finalizado. A análise ao longo dos ciclos de decisão assume um caráter informativo e torna-se insumo para as etapas subsequentes.

Neste sentido, compreende-se o BIM enquanto processo integrado e colaborativo que dispõe de ferramentas parametrizáveis de simulação associadas à concepção, possa colaborar para a dinâmica projetual arquitetônica, em especial, quando comprometida com requisitos ambientais. “O uso de ferramentas de simulação computacional de desempenho ambiental, nas várias fases do projeto, tem tido um papel crucial de acentuar as vantagens de soluções verdadeiramente integradas entre arquitetura, engenharia e sistemas prediais” (GONÇALVES, 2015, p. 237).

A questão que instiga esse estudo é: como lidar com esta multiplicidade de dados, critérios, hierarquias e opções de escolha no ambiente BIM? Neste, a geometria e a informação apresentam-se vinculadas, “os atributos dos objetos são necessários para fazer a interface com as ferramentas de análises, estimativas de custos e outras aplicações, mas esses atributos devem primeiramente, ser definidos pelo projetista” (EASTMAN et al, 2014). Estaríamos, portanto, concentrados em estudos de ensaio e erro, ensaios comparativos em busca de amostras mais eficientes?

No sistema BIM, a conexão entre os dados deve ser precisa, seja entre os diferentes softwares que integram o processo de projeto, ou entre a malha de informações construída dentro de um só software. A informação pode ser processada de inúmeras maneiras, mas deve estar organizada com vistas a viabilizar sua utilização para diferentes fins, dentre eles, a análise (LEUPEN et al, 1997, p.18).

Destaca-se, portanto, a importância da parametrização. A definição dos objetos de forma paramétrica é uma das vantagens do sistema BIM (KUBBA, 2012). O objeto é definido por parâmetros e relacionado aos demais, tornando-os vinculados. Assim, quando um deles é alterado, o impacto se estende ao conjunto. A parametrização associada à modelagem tridimensional pode ser um elemento facilitador para a visualização das relações projetuais e consequente compreensão do conjunto de problema de projeto arquitetônico.

2.3.4 Cenário Internacional

Compreender o desenvolvimento do BIM no cenário internacional, respeitando as devidas diferenças sócio-política-culturais, colabora para o debate de questões semelhantes enfrentadas no país. A tabela 6 apresenta a listagem de países associados à organização *BuildingSMART*⁴ a partir do Relatório

⁴ *BuildingSMART International's Annual report for 2012*. Disponível em: www.buildingsmart.org/resources/publications/buildingsmart-international-annual-reports/bsi-annual-report-2012. Acesso em: 27 julho 2015.

BuildingSMART International's Annual report for 2014. Disponível em: <http://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2015/07/bsi-Annual-Report-2014.pdf>. Acesso em: 27 julho 2015.

Internacional Anual de 2012 e 2014. A *BuildingSMART* é uma organização internacional composta por grupos de diferentes países comprometidos em contribuir, juntos a seus governos, para o desenvolvimento tecnológico, o BIM e o trabalho colaborativo (FERRIÈS, 2015, p.39).

Tabela 6 : Países onde a aplicação do BIM se destaca. Fonte: Adaptado de Ferriès (2015, p.39).

América do Norte	Europa	Oriente Médio e África do Norte	Ásia	Austrália
Estados Unidos Canadá	Países nórdicos Países Germano-fônicos Países franco-fônicos Reino Unido e Irlanda Bélgica, Países Baixos e Luxemburgo Itália e Espanha	Alguns países	Japão Coréia do Sul Singapura China	Austrália Nova Zelândia

As diferentes iniciativas objetivam a redução de custos e o aumento da eficiência, tanto no processo do projeto quanto na execução da obra e gestão do objeto construído (FERRIÈS, 2015, p.39-43). Tais iniciativas envolvem normatizações, padronizações e em vários casos, a obrigatoriedade da adoção do sistema BIM (processo e ferramenta) para projetos públicos. Na França o uso do BIM não é obrigatório, mas aparece com frequência como requisito nos editais de concursos voltados para seleção de projetos arquitetônicos.

A padronização e normatização para os procedimentos inerentes ao BIM surgem em resposta a complexidade e aos múltiplos desdobramentos e campos possíveis de aplicação para o sistema. O trabalho colaborativo e participativo pressupõe o envolvimento de diferentes áreas de saber, o que demanda uma certa uniformização da linguagem e dos padrões com vista a garantir o bom

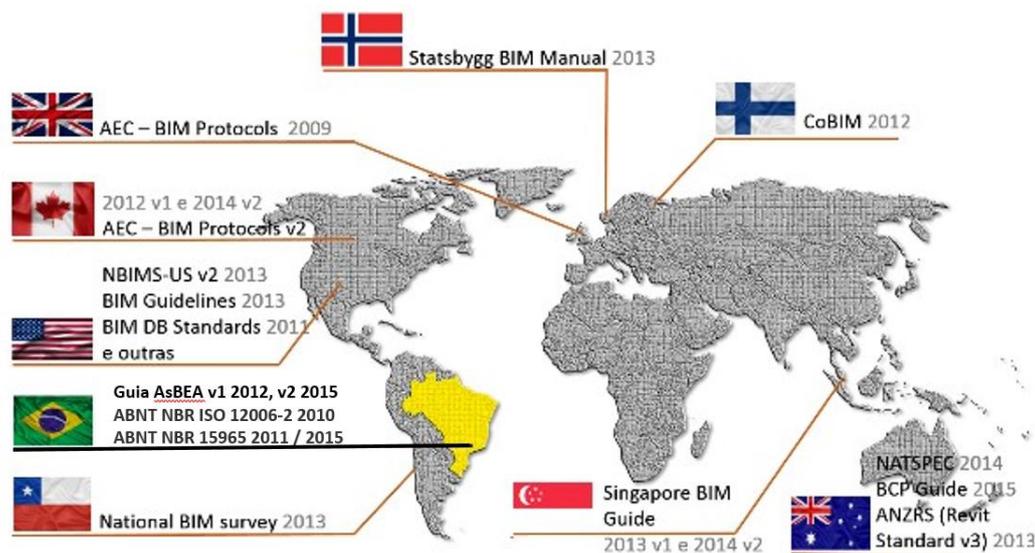


Figura 9 : Mapa com destaque para os países que dispõem de Manuais ou Normativas relacionadas ao BIM seguido do ano de sua publicação. Fonte: Adaptação de AIA (2012), AsBEA (2013), AsBEA (2015) e ABNT (2015). Elaborado pelo Autor.

funcionamento destas relações. Apesar de não estarem vinculados à organização *BuildingSMART*, Brasil e Chile começam a se destacar dentre os países da América Latina que apresentam iniciativas e investimentos no setor (figura 9).

Diante do contexto no qual foi desenvolvido este trabalho, cabe compreender, em especial, a configuração dos cenários de desenvolvimento do BIM na França e no Brasil.

Quando se trata de estratégias de implantação do BIM, a França conta com importantes referências no cenário europeu. Dinamarca, Grã-Bretanha e Finlândia se destacam como exemplos no desenvolvimento de normas, regulamentações e incentivos governamentais dedicados à implementação do BIM no setor da construção civil.



Na França, existe um encorajamento e não, especificamente, diretrizes impositivas a este respeito. Atualmente, o país dispõe do “*Plan Transition Numérique dans le Bâtiment*”⁵, ou seja, um plano de três anos dedicado ao acompanhamento da transição digital no setor de projetos e construção de edifícios. Configura-se como um esforço centrado em acompanhar e contribuir para ações que precedem a normatização do BIM.

Considerando os níveis de maturidade de CAO (*Concepção Assistida pelo Computador*), apresentados na tabela 5, pode-se considerar que o mercado brasileiro se encontra em transição entre os níveis um e dois. O nível um consiste no modelo em “2D com 3D interativo, sendo o 3D limitado à visualização” e o nível dois se refere aos “modelos 2D e 3D inteligentes que contêm informação rica e interativa” (CELNIK; LEBÈGUE, 2015, p.44). Entendemos, portanto, que a articulação de informações é um ponto importante na questão.



No Brasil, dentre as diretrizes dedicadas à implementação efetiva do processo BIM, assim como para o adequado uso de suas ferramentas, destacam-se: o guia de boas práticas elaborado pela Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura – AsBEA – Fascículo I (2013) e Fascículo II (2015); NBR 15965 – Sistema de Classificação de informação da Construção, Parte 1 (2011), Parte 2 (2012), Parte 3 (2014) e a mais recente, Parte 7 (2015); ISO 15686-4 *Building Construction – Service Life Planning using Building Information Modelling* (2014); e ABNT NBR ISO 12006-2 Construção de edificação — Organização de informação da construção (2010).

Os desafios e obstáculos para o avanço da abrangência desse sistema são, geralmente, recorrentes entre os diversos países listados. Entende-se que os entraves se concentram nas seguintes questões: necessidade de investimento para implantação do BIM e capacitação da equipe, adaptação gradativa dos softwares parceiros, incompatibilidade de linguagem entre softwares, adaptação a um método

⁵ Disponível em: www.batiment-numerique.fr. Acesso em 13 outubro 2016.

diferente de trabalho que, para o funcionamento eficiente, depende do envolvimento e comprometimento dos diferentes agentes do processo de projeto e do empreendimento em si. Conclui-se que, o grande desafio parece retornar para a questão de partida do BIM: a interoperabilidade, isto é, a capacidade de troca, seja entre ferramentas, entre ferramenta e equipe ou entre a própria equipe de projeto.

2.3.5 Níveis de desenvolvimento do BIM

Level of Development – LoD – refere-se aos diferentes degraus de evolução do projeto ao longo da elaboração do modelo geométrico digital, responsável pelo registro da edificação desde sua programação, concepção, construção até a fase de operação (HOYET et al, 2016). Elaborado pelo Instituto Americano de Arquitetos (*The American Institute of Architects*) – AIA – , tem por objetivo identificar os conteúdos mínimos requeridos e os “usos autorizados” para cada elemento modelado (tabela 7), a princípio, nos cinco níveis progressivos de desenvolvimento propostos (AIA, 2013, p.2). O “LoD” é reconhecido na França por *Niveaux de Développement – NdD* – e representando, da mesma maneira, o nível de informação contida nos diferentes estágios do modelo geométrico digital (HOYET et al, 2016).

O acrônimo LoD representa simultaneamente: (i) *Level of Development*; (ii) *Level of Detail*; e, (iii) *Level of Data*, ou seja, nível de desenvolvimento, detalhes e dados do modelo geométrico digital, enquanto ferramenta de representação gráfica, suporte de modelização ou gerenciamento. O *nível de desenvolvimento* reside no grau de definição do objeto caracterizado por sua geometria associada às informações incorporadas no modelo geométrico digital. O *nível de detalhes* representa o grau de definição geométrica da representação gráfica dos objetos modelados. E, por fim, o *nível de dados* configura-se pela diversidade de dados e informações associados à cada elemento que compõe o modelo geométrico digital (HOYET et al, 2016, p.22-23).

Tabela 7 : Níveis de desenvolvimento do modelo geométrico digital no sistema BIM. Fonte: Adaptado de AIA (2013); Hoyet et al (2016).

Níveis	Maquete	Abordagem
000	Não se aplica	Em consonância com Hoyet et al (2016) entende-se que cabe considerar um nível anterior ao LoD 100, que chamaremos aqui, de nível zero (000). Este nível “descreve a preparação dos dados, efetivados pelo gerenciamento de projeto, da redação do programa de necessidades e diretrizes projetuais” (HOYET et al, 2016, p.x - preâmbulo).
LoD 100	Conceitual	“Descreve o surgimento do conceito arquitetônico bem como das análises do conjunto (...)” (HOYET et al, 2016, p.x - preâmbulo). O elemento pode ser graficamente figurado no modelo geométrico digital com uma representação genérica (AIA, 2013). Recomendações para análise - o elemento modelado pode ser analisado com base no volume, área e orientação para aplicação de critérios generalizados de desempenho atribuídos a outros elementos (AIA, 2013).
LoD 200	Geometria Aproximada	“O elemento é graficamente representado dentro do modelo como um sistema genérico, objeto, ou montagem com dados aproximados. A

		informação não gráfica pode também ser anexada ao elemento” (AIA, 2013). O alvará de construção, geralmente, é requisitado com o material resultante desta fase (HOYET et al, 2016). Recomendações para análise - analisar o desempenho dos sistemas selecionados para avaliação de critérios generalizados de desempenho atribuídos ao próprio elemento representado (AIA, 2013).
LoD 300	Geometria Precisa	“O elemento é graficamente representado dentro de uma maquete em um sistema específico, objeto ou conjunto (...). Informações não gráficas podem ser anexadas ao elemento modelado” (AIA, 2013). Recomendações para análise – analisar o desempenho dos sistemas selecionados através da aplicação de critérios específicos de desempenho atribuídos ao próprio elemento representado (AIA, 2013).
LoD 350	Geometria Precisa	Compatibilização entre os projetos das diferentes disciplinas.
LoD 400	Fabricação	Refere-se ao desenvolvimento do canteiro, devendo permanecer atualizada de acordo com as etapas de execução. Recomendações para análise – analisar o desempenho de sistemas selecionados pela aplicação de critérios atuais de desempenho atribuídos ao elemento (AIA, 2013).
LoD 500	<i>As-built</i>	Equivale ao dossiê das obras executadas, ou seja, <i>as-built</i> .
LoD 600	A definir	Configura-se a partir da atualização do modelo geométrico digital do projeto em seguida à fase de uso e operação do edifício.

Entendendo que esta estrutura organizada em níveis associa o desenvolvimento do modelo geométrico digital através de detalhes e dados, portanto, considera-se oportuno adotá-la como estrutura organizadora do processo de decomposição proposto como método e exercitado no Capítulo III.

2.3.6 Interoperabilidade

Acredita-se que o debate sobre a interoperabilidade deva alcançar minimamente, duas esferas que estão diretamente vinculadas: a primeira lida com o ambiente físico do processo de projeto e refere-se à troca de informações entre os agentes; a segunda está imersa no ambiente digital e concentra-se em alternativas de troca entre as ferramentas digitais. A intersecção entre os dois ambientes (físico e digital) incorpora a etapa de troca provavelmente mais importante para este debate, ou seja, entre agentes e ferramentas.

O fato de o sistema BIM propor a concentração das informações do projeto em um modelo 3D capaz de ser compartilhado e receber interferências dos diversos agentes envolvidos, em diferentes etapas do ciclo de vida da edificação, levanta duas questões centrais: (i) dependência direta do projeto ao modelo tridimensional; e (ii) vínculo e a incorporação de todos os agentes do projeto ao mesmo sistema de trabalho.

Para cada uma dessas questões existem, naturalmente, vantagens e desvantagens. Em síntese, a concentração do projeto em um modelo tridimensional e parametrizável, proporciona maior dinâmica na visualização do projeto como um todo, favorece a compatibilização e sobreposição entre diferentes projetos e, ainda, estende a possibilidade de utilização do modelo para fases posteriores à construção, como reformas, requalificação e *retrofit*.

A modelagem no BIM permite um maior grau de coordenação entre as informações relativas à edificação nas fases de concepção, execução e uso/atividade. Em contraponto, resulta em arquivos pesados que demandam maior capacidade de processamento dos computadores e a modelagem pode ser entendida como subutilizada, quando camadas do projeto (estrutura, instalações etc) estão desenhadas em sistema bidimensional não parametrizado, dificultando a integração ao modelo tridimensional BIM (LOVELL, 2010).

No ambiente digital, a transferência de dados e informações concentradas no modelo geométrico digital deve ser clara e precisa através dos diferentes softwares adotados pelos membros da equipe de projeto. Parte-se do princípio que o banco de dados deve ter caráter coletivo e colaborativo, onde “a semântica utilizada na descrição dos componentes deve ser atualizável e compartilhável (...)” (HOYET et al, 2016).

O fato é que, até então, nem todos os softwares empregam o mesmo formato de troca de dados, o que é agravado pelo crescente número de diferentes softwares adotados pelos agentes no projeto devido às suas especificidades. Em síntese, pode-se definir o sistema em dois formatos de troca de dados: 1. *Closed BIM* (adotados pela Autodesk, Bentley e Nemetschek); 2. *Open BIM* (standard IFC) que assegura a interoperabilidade e a durabilidade dos modelos tridimensionais (CELNIK; LEBÈGUE, 2015; JENSEN, 2015; PAZLAR; TURK, 2008). Ambos objetivam maior dinâmica entre as trocas constantes de dados e informações durante o desenvolvimento e a realização do projeto.

O formato *Closed BIM* funciona a partir de parcerias entre as empresas desenvolvedoras dos softwares. A exemplo, os softwares de análise ambiental como o modelo francês ArchiWizard, que são ativados através de plug-ins instalados no Revit, Archicad e outros. Assim, a troca de dados é direcionada entre os softwares. No entanto, existem problemas já reconhecidos de interoperabilidade e retrabalho na inserção ou conferência dos dados transmitidos.

Já o sistema BIM em formato aberto, conhecido como *Open BIM*, tem sua base técnica no processo de certificação da *BuildingSMART IFC 2.0* (BUILDINGSMART, 2014; LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Propondo um fluxo de projeto transparente, com a troca de dados viabilizada independente do software utilizado. Busca, assim, evitar a entrada múltipla de dados e os consequentes erros. Por consequência, “o *Open BIM* permite a integração dos agentes de projeto sem impor a compra de uma ou outra plataforma onerosa” (HOYET et al, 2016).

No sistema *Closed BIM*, a falta de uniformidade entre os parâmetros de diferentes softwares se configura como um dos complicadores entre a troca de dados e sua posterior reutilização pelos diferentes agentes atuantes no projeto. Este é o caso do Archiwizard que também adota o recuso do “*plug-in*” (figura 10) para viabilizar a troca de dados com outros softwares, sejam eles do sistema BIM ou não. Sendo o fluxo de informações de sentido único, este pode ser compreendido como uma restrição e resulta em retrabalho de algumas etapas.

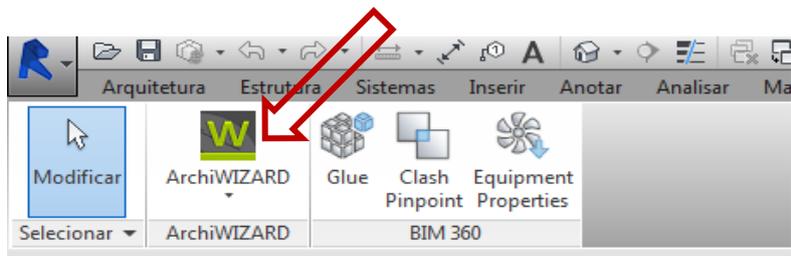


Figura 10 : Ícone do plug-in do AWZ na barra de tarefas do software Revit 2015/ Autodesk. Fonte: Acervo do autor.

2.3.7 Caso ArchiWIZARD | Software de análise integrado ao sistema BIM

O período de pesquisa doutoral no Laboratório de Pesquisa em Arquitetura de Toulouse – LRA –, permitiu, entre outras experiências, a aprendizagem e a construção crítica do contexto atual referente ao desafio da implementação de novas tecnologias digitais no campo da arquitetura e do urbanismo. É certo que um caso não deve determinar todo o contexto, mas podemos, aqui, considerá-lo relevante. O software Archiwizard é o mais utilizado na França e apresenta investimentos em projetos que extrapolam a fronteira francesa.

O mais importante parece ser não o software em si, mas, sim, as estratégias utilizadas para aproximar as decisões de compromisso ambiental das etapas preliminares do projeto. A oportunidade de conexão com o sistema BIM incentiva o trabalho colaborativo e participativo em busca de redução de custos e aumento da eficiência geral. Tal conexão expõe os desafios com a interoperabilidade e a resistência com o formato IFC. Mostra-se como referência para a padronização e formatação das informações técnicas construtivas essenciais à eficiência de simulação termo energética do edifício. Configura-se, desta forma, objeto central das reflexões aqui elaboradas.

2.3.7.1 Contextualização

A França tem um avançado sistema de diretrizes e normatizações dedicadas à concepção, execução e verificação da eficiência do edifício. A normatização que envolve a eficiência térmica do edifício é uma das que mais se destacam, devido aos impactos no consumo energético e conforto interno dos ambientes. A primeira norma de regulamentação térmica, a RT 1974, entrou em vigor no ano de 1975. Em contraponto à crise do petróleo, o país investiu em pesquisas e conscientização para combater a fragilidade energética. A versão mais recente é a Norma RT 2012, que alimenta as ferramentas digitais de análise ambiental em uso no território francês (MOLLE; PATRY, 2011, p.5).

A RT 2012 “(...) foi redigida a fim de respeitar os compromissos ecológicos do país na continuidade da lei de Grenelle I e II” (MOLLE; PATRY, 2011, p.9). A norma se aplica a edifícios novos e a partes novas de edifícios antes construídos. Define que o consumo energético médio destas construções deve ser de 1/3 da norma anterior, a RT 2005; ou seja, limite de 50 kWh/m²/ano. Além deste parâmetro, a RT dedica atenção a três principais exigências que envolvem o desempenho energético global: (i) concepção bioclimática; (ii) baixo consumo de energia primária; (iii) boas condições de conforto

(MOLLE; PATRY, 2011, p.9). Compreende-se, portanto, sua importância como base técnica para as ferramentas digitais de análise ambiental.

A lista de atuais softwares de análise e simulação aplicáveis a projetos na área da arquitetura e do urbanismo é bastante extensa. Na França, alguns grupos se destacam no desenvolvimento de softwares que se dedicam a análise e simulação: Graitec, com softwares para estruturas metálicas e em concreto armado; Clima-Win, para análises térmicas; Archiwizard, para análise de desempenho termo-energético; Attic+, para quantitativos; Élodie, para ciclo de vida; Auralies e Phanie, para simulações de ambiência (CELNIK; LEBÈGUE, 2015).

Sob gestão da GRAITEC, desde o fim de 2016, o software ArchiWIZARD, desenvolvido originalmente pelo grupo *RayCreatis*, infelizmente não dispõe mais da versão *Esquisse*, originalmente gratuita e utilizada por acadêmicos, destinando-se atualmente, apenas à profissionais – através de versões pagas – ou por um período limitado de um mês para experimentação.

2.3.7.2 A Escola de Arquitetura de Toulouse - ENSAT

A oportunidade de acompanhar como ouvinte a disciplina “*Architectures Numériques*” no primeiro semestre de 2014, na Escola de Arquitetura ENSAT - *Ecole d’Architecture de Toulouse*, viabilizou momentos de observação e aprendizagem que resultam nestas reflexões. O projeto utilizado nas ilustrações deste tópico refere-se ao edifício TriPOD, disponibilizado como modelo de estudo da disciplina.

A disciplina objetivou inserir a ferramenta de análise ambiental Archiwizard, na época ainda disponível em versão gratuita para estudantes, como suporte a tomada de decisão no projeto arquitetônico nas fases iniciais de concepção. A recente migração da ferramenta para o sistema BIM propicia oportunidades para adotar este software em específico, como exemplo para este discurso. Esta disciplina faz parte de um conjunto de iniciativas propostas pelo Professor Bernard Ferriès e sua equipe: Sandra Marques, Marion Bonhomme, entre outros.

A proximidade da Escola de Arquitetura com Grupo RayCreatis – Raytracing Software Solutions responsável pelo desenvolvimento do software Archiwizard favoreceu a implementação desta ferramenta no meio acadêmico. Isto deu-se através de pesquisas e investigações desenvolvidas pelos professores e alunos de pós-graduação no LRA (Laboratoire de Recherche em Architecture) ou na graduação através do ensino na Escola de Arquitetura ENSAT.

O fato de, na França, diferentemente do Brasil, ser obrigatório um Engenheiro Térmico como responsável pelo projeto da parte térmica do edifício, problematiza sensivelmente uma aceitação do software Archiwizard pelos alunos do curso de arquitetura. Uma das questões que surge como *feedback* dos alunos da disciplina é, até que ponto cabe ao arquiteto a responsabilidade por decisões que impactem a eficiência energética do edifício? Não seria este papel do engenheiro térmico? Não basta ao arquiteto iniciativas bioclimáticas ao longo do projeto?

À primeira vista, parecem questionamentos reducionistas, mas levantam uma questão importante que é o limite ou a incumbência de cada profissional envolvido no projeto. Os limites e intersecções destes papéis estão sob constante revisão quando observados através da ótica da arquitetura

contemporânea, resultado do novo paradigma criado por ferramentas digitais que subvertem a forma, até então tradicional, de projetar. A modelagem tridimensional, a parametrização, a prototipagem, a interoperabilidade e outros, podem ser citados como exemplos.

2.3.7.3 Archiwizard | o software

O software de análise ambiental Archiwizard – AWZ – é um bom exemplo para a discussão, pois é adequado às análises em fase de estudo do projeto e seu funcionamento é semelhante aos demais com este perfil. Para esclarecer a argumentação, é necessário informar que o AWZ é um software francês, adequado à regulamentação vigente RT2012, utiliza o *Energy Plus* como algoritmo para simulação térmica. Os dados climáticos podem ser adicionados através de arquivos em formato *.epw ou selecionados com base no banco de dados do METEONORM⁶.

A utilização deste software, especificamente em climas úmidos, é restrita a simulação de insolação ou estudos comparativos, uma vez que são excluídos a ventilação natural e a variação de umidade do ar. Cálculos desta complexidade ainda não são contemplados pelo sistema. A simulação também não dispõe de algoritmos específicos para o cálculo isolado de ventilação natural, considerando a permeabilidade do edifício através de índices e padrões pré-estabelecidos pelas normas vigentes no cenário francês.

O AWZ importa modelos tridimensionais de outros softwares como Sketchup (figura 11-12), Revit ou Archicad, independentemente de estes adotarem o sistema BIM ou não. Depois de importado para a plataforma própria do software, pode-se configurar a envoltória do edifício com base em diversos catálogos digitais de componentes construtivos, executar simulações térmicas, de iluminação natural, incidência solar, energias renováveis e emitir resultados simplificados, de fácil leitura através de uma plataforma amigável.

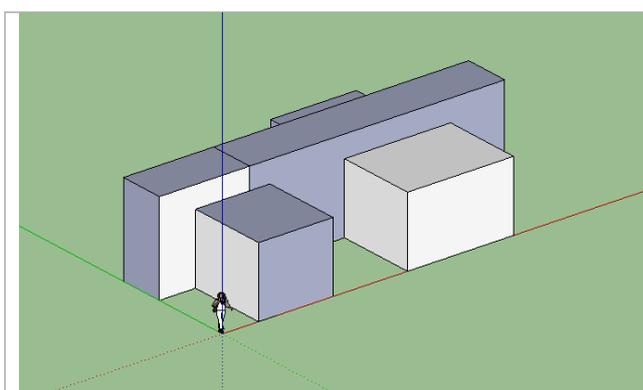


Figura 11: Projeto TriPOD - modelo de estudo no software Sketchup – geometria sem vãos. Fonte: Acervo do autor.



Figura 12: modelo de estudo no software Archiwizard – geometria acrescida de vãos e componentes construtivos. Fonte: Acervo do autor.

⁶ METEONORM: Plataforma digital que concentra bancos de dados climáticos dos diferentes continentes. Disponível em: <http://www.meteonorm.com/>. Acesso em: 23 março 2014.

O recurso de interoperabilidade adotado se faz através de *plug-ins*. Este fato chama a atenção para a seguinte questão: o fluxo unilateral das informações. Os dados são enviados para o AWZ, de modo a alterar a geometria, incorporar informações, selecionar materiais e suas características, a fim de investigar diferentes quesitos ambientais. Contudo, os *plug-ins* não viabilizam que o resultado gerado seja enviado de volta aos *softwares* de auxílio à concepção.

As informações incorporadas ao modelo geométrico ainda no Revit, por exemplo, quando enviadas para o Archiwizard (AWZ), deverão ser retrabalhadas, pois cada plataforma trata a informação de maneira diferente. Por esta razão, é comum a utilização de um software simples para a geração apenas da geometria, como o SketchUp, já que a informação pode ser inserida diretamente através da plataforma disponível no AWZ.

A modelagem tridimensional digital pode ser elaborada em diferentes softwares geralmente adotados pelos profissionais no campo da arquitetura, que trabalham com uma linguagem praticamente universal de representação gráfica. Este modelo deve ser exportado para o AWZ a fim de ser trabalhado, estudado, simulado e seus resultados devem auxiliar na tomada de decisão realimentando diferentes fases do projeto arquitetônico. A interface é de fácil visualização e atualiza automaticamente a cada alteração.

Mesmo se o modelo for importado de um software BIM como o Revit ou o Archicad, onde podem já existir informações agregadas à geometria, recomenda-se, a princípio, a importação da geometria em massa, sem informações, para evitar incompatibilidades. A interoperabilidade entre as informações técnicas não é eficiente como a geométrica que pode, inclusive, ser atualizada. Exige conferência e retrabalho. Por isso, recomenda-se importar a geometria e inserir vãos, esquadrias e características construtivas diretamente na plataforma do AWZ, podendo cada grupo de superfícies ter sua composição definida, com o máximo de precisão. O banco de dados dos elementos construtivos é sistematizado e normatizado, contendo características técnicas editáveis para atender à demanda e aos objetivos das simulações que podem se concentrar em um ou mais ambientes e até mesmo no edifício como um todo.

O comparativo entre diferentes cenários simulados enriquece o processo de tomada de decisão inerente ao processo de projeto. Este software incentiva o trabalho colaborativo entre arquitetos e engenheiros térmicos, dedicados ao trabalho entorno do modelo digital (LECUSSAN, 2015). Oferece, então, a oportunidade de estes profissionais trabalharem de maneira integrada desde as primeiras etapas de concepção do projeto.

Um dos maiores benefícios da utilização deste modelo de software é a sua aplicabilidade em etapas preliminares do projeto. Contudo, assim como outros softwares de simulação digital, estes apenas simulam, o que não garante a eficiência do edifício na prática. Ou seja, no período de vida útil do edifício existem diversas variáveis instáveis e difíceis de serem incluídas na simulação digital. A exemplo, há a ação do usuário, que pode ser apenas estimada por cenários definidos ao longo de períodos específicos para dados de simulação. Portanto, a ação consciente e responsável no uso do ambiente é tão importante quanto cada ação do projetista ao longo das demais etapas da análise.

2.3.7.4 Considerações sobre a aplicabilidade do software ArchiWIZARD no Brasil

Como as informações relatadas até aqui, podem de alguma forma, encontrar aplicabilidade? Quanto ao Archiwizard, as restrições são semelhantes a outros softwares internacionais que pouco se aplicam às nossas características climáticas. Edifícios com alta taxa de permeabilidade, ventilação natural nos ambientes internos e a interferência da umidade na temperatura são, de acordo com Bernard Lecussan⁷, características que aumentam exponencialmente a complexidade dos cálculos necessários ao mais simples dos softwares de simulação.

Apesar de suas limitações, não há impedimentos para considerar o *software* Archiwizard como uma potencial ferramenta de análise. Dentre outros, os desafios de integração com o sistema BIM e de interoperabilidade, a oportunidade de integração entre diferentes profissionais, o banco de dados sistematizado de elementos construtivos, as possibilidades de uso para simulação de insolação e todas as outras ferramentas comparativas, viabilizam a ponderação cuidadosa dos critérios e parâmetros considerados. Cientes de que a ferramenta é eficiente para ambientes com baixa taxa de permeabilidade e considera gastos energéticos com aquecimento – item que deve ser desativado para cálculos na maior parte do Brasil –, esta pode ser, portanto, eficiente para fins de estudo. É, a princípio, inadequada para validação de índices de eficiência energética, visto que não utiliza a legislação ou as normas locais como base de cálculo.

A plataforma disponibilizada pelo AWZ nos alerta ainda, para a ausência de um banco de dados consistente e de uma sistematização e padronização das características físicas dos materiais utilizados na construção civil brasileira. A análise ambiental depende diretamente do banco de dados vinculado ao projeto, seja o banco de dados climático ou as propriedades físicas e mecânicas dos materiais que são editáveis. Mesmo com os limitadores e problemas descritos, *softwares* com este perfil se configuram como importantes ferramentas de estudo das alternativas do projeto.

Por fim, ciente dos limitadores, optou-se por incluir esta ferramenta no processo de estudo desta tese a fim de explorar estudos comparativos de desempenho ambiental com base no modelo geométrico digital do objeto de estudo.

2.3.8 Reflexões

A tecnologia disponibilizada através da estrutura BIM, “é particularmente valiosa para o projeto sustentável”, pois viabiliza a criação de um modelo tridimensional virtual da construção e todos os seus sistemas (KUBBA, 2012). Elaborado em um formato que pode ser compartilhado entre a equipe do projeto, facilita a integração e compatibilização das informações. Esta troca deve acontecer de maneira constante ao longo do processo de projeto, entre os agentes ou entre as ferramentas envolvidas.

Assim como as normas e certificações estão avançando, os *softwares*, considerados ferramentas de projeto, também se desenvolvem a passos largos. As ferramentas digitais de análise estão cada vez mais incorporadas às ferramentas de concepção do projeto, em sua maioria, dedicadas à gestão,

⁷ Bernard Lecussan, coordenador do Grupo RayCreatis – Raytracing Software Solutions –, responsável pelo *software* ArchiWizard. Reunião na sede RayCreatis, dia 21/07/2014, com a presença de Frédéric Boneaud, Aline Calazans Marques e Bernard Lecussan.

custos, análise de insolação, desempenho térmico e energético. O BIM tem a capacidade de aceitar *plug-ins* que podem realizar a simulação térmica e luminosa entre outras, além de fornecer uma plataforma para os dados exigidos por organismos de certificação (KIBERT, 2013).

Ao adotar o modelo tridimensional como catalizador de informações sobre o projeto, haverá o benefício de um processo mais ágil e dinâmico, que permitirá a integração e colaboração dos diferentes agentes no processo. Consideramos este panorama como uma oportunidade de estreitar os laços entre os critérios estéticos e técnicos, de forma a colaborar para o desenvolvimento de projetos relacionados com alto desempenho e comprometidos com a sustentabilidade.

No entanto, algumas questões ainda se configuram como desafios. A interoperabilidade é uma das mais antigas e a solução adotada pelas empresas gerenciadoras dos *softwares*, o *plug-in*, acabou por desencadear novas questões. A adoção dos *plug-ins* como estratégia de parceria entre os *softwares* facilita o acesso do projetista à ferramenta de análise que, até alguns anos atrás, era de uso quase exclusivo de especialistas na área. Com interfaces mais amigáveis e processamento de dados simplificado, em poucos passos, com as informações corretas, é possível verificar, por exemplo, a incidência do sol e a carga térmica na envolvente do edifício. As simulações térmicas e luminosas se encontram incorporadas ao sistema BIM (KIBERT, 2013). No entanto, simulações mais complexas como a ventilação natural, realizadas por meio de CFD (Computer Fluid Dynamics), não são frequentes.

A reflexão apresentada centrou-se em demonstrar a possibilidade de integrar a análise ambiental ao sistema *Building Information Modelling* no contexto da Arquitetura Contemporânea. Assim, podemos concluir que a estrutura digital disponível no campo da arquitetura está em constante aperfeiçoamento e tende a, cada vez mais, favorecer o processo de trabalho dos profissionais envolvidos. Destacamos que, durante o percurso do processo de projeto, independentemente das etapas, o ambiente digital é complementar ao ambiente físico. O ambiente digital viabiliza o processamento ágil e preciso da informação que é definido pelos agentes no ambiente físico, ou seja, a equipe de projeto.

Configura-se, por fim, como responsabilidade dos projetistas e dos demais agentes envolvidos, o fornecimento dos dados de entrada, a análise e interpretação dos resultados das simulações e, por consequência, os desdobramentos resultantes das decisões tomadas. A ética profissional e comprometimento com as diretrizes projetuais devem ser norteadoras deste processo.

CAPÍTULO III

3. DECOMPOSIÇÃO

APRESENTAÇÃO | OBJETIVOS

Este capítulo se inicia com a introdução metodológica adotada com vistas a esclarecer as estratégias estabelecidas para o processo de decomposição. Em sequência, se dedica a expor o conjunto de análises desenvolvido pela autora com vistas a elaborar subsídios para a verificação da hipótese previamente formulada.

O texto está estruturado em quatro partes. A primeira, apresenta a introdução metodológica. A segunda, expõe o objeto de estudo e as condicionantes projetuais envolvidas. Em sequência, em uma única tabela, encontram-se organizadas as diretrizes para a decomposição. E, por fim, a terceira parte subdivide-se em quatro etapas, sequencialmente equivalentes aos níveis 000, 100, 200 e 300 de desenvolvimento da maquete digital no sistema BIM.

O produto deste Capítulo atenta para as conexões previamente abordadas pelo referencial teórico e confere caráter prático e experimental, através do ensaio decompositivo do objeto de estudo.

3.1. Introdução Metodológica

O crescente número de parâmetros a serem controlados ao longo do processo de projeto arquitetônico tende a gerar uma inevitável dispersão da informação, demandando estratégias de organização e hierarquização dos dados com vistas a viabilizar sua articulação e interpretação (HOYET et al, 2016). Através da definição clara de um recorte metodológico específico, pretende-se estabelecer as estratégias balizadoras do estudo na fase de experimentação proposta e apresentada neste capítulo.

3.1.1 Análise

O termo análise tem origem na palavra grega *análysis*, e significa: “ação de decompor um todo em suas partes componentes; observação, exame” (CUNHA, 2010, p.32-34). Assim como em outras ciências, requer a explicitação de um método de investigação. Quando realizada em meio digital, geralmente demanda validação do processo ou dos resultados. Compreende-se como objetivo da análise a interpretação dos resultados ou soluções que emergem ao longo do processo metodológico considerado.

Como discutido no Capítulo II, o campo de saber inerente ao conforto ambiental expõe o projetista a questões de um universo complexo, podendo estas serem simultaneamente complementares e contraditórias. A tarefa do analista é decifrar as significações (JOLY, 2009), pois este campo demanda conhecimentos e ferramentas adequadas para lidar com a diversidade de elementos, variáveis e critérios envolvidos.

Para uma compreensão das significações de um cenário (conjunto de elementos) envolvido em uma determinada circunstância (contexto urbano e condicionantes ambientais), pressupõe-se a necessidade de estabelecer limites (critérios, parâmetros) e pontos de referência, a fim de gerar comparativos para viabilizar uma análise. A confrontação entre uma presente interpretação e outras interpretações referenciais pode ser considerada razoável e plausível, desde que considerados o momento e as circunstâncias específicas (JOLY, 2009).

3.1.2 Método para a decomposição do objeto de estudo

Para desenvolver a análise optou-se por **decompor** o objeto de estudo tomando por base a estrutura de níveis de desenvolvimento do BIM adotados pela organização *BuildingSMART* e pelo *The American Institute of Architects* (AIA, 2013). Os níveis de desenvolvimento do BIM são reconhecidos internacionalmente e adotados no cenário brasileiro como exposto no *Guia de boas práticas em BIM: fascículo II*, elaborado e divulgado pela Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – ASBEA – com o apoio do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (ASBEA, 2015).

Decompor o objeto para a análise equivale a “desmontar, trazer para fora, extrair a relação entre os componentes e os aspectos do projeto. Justapor ou sobrepor desenhos acrescidos de informações complementares, pode ser útil frente a análise da relação entre os diferentes sistemas no projeto” (LEUPEN et al, 1997, p.19). Este processo demanda certa ordem, um tipo de organização a fim de garantir a legibilidade das informações e proporcionar o entendimento do todo através da transparência do processo.

Como estratégia metodológica, o processo de decomposição foi orientado pelos níveis de desenvolvimento do BIM – reconhecidos por LoD (*Level of Development*) – associados à noção de nível de detalhes (*Level of Detail*) e nível de dados (*Level of Data*). Cabe lembrar que, no âmbito francês, adota-se o acrônimo ND (*niveau de développement*), assumindo níveis de desenvolvimentos próprios elaborados com base nos níveis (LoD) definidos pelo AIA. Portanto, foram estabelecidas 4 etapas de decomposição nomeadas por: 000 / ND1, LoD 100 / ND1, LoD 200 / ND2 e LoD 300 / ND3.

O nível 000 adotado nesta tese não é citado pelo Instituto Americano de Arquitetos como um dos níveis de desenvolvimento do BIM. Contudo, no cenário francês o conteúdo do recorte definido para o nível 000 está inserido na esfera do primeiro nível de desenvolvimento - ND1 (HOYET et al,2016), corroborando para a elaboração da decomposição a partir desta estrutura.

Com base nos critérios de interesse pré-definidos pelo edital do concurso, cada etapa é investigada a partir de um processo de diagnóstico seguido de análise, viabilizando a elaboração de possíveis desdobramentos delineadores da etapa seguinte:

- *Diagnóstico*: é orientado pelas características específicas da fase de decomposição em que se encontra. A partir do compromisso com os requisitos ambientais estabelecidos, o diagnóstico tem por objetivo final definir um recorte de interesse para ser explorado na sequência da análise.
- *Análise*: utiliza diferentes ferramentas de simulação, associando recursos analógicos e digitais conforme o interesse de aprofundamento da investigação. É necessário estabelecer indicadores específicos, resultando em dados numéricos que viabilizem a elaboração de comparativos mono critérios e/ou multicriteriais.

Por fim, o produto resultante – das partes e do todo – da decomposição, conforma um conjunto de dados objetivos e subjetivos tratados sob a abordagem multicritério. Adotada como estratégia de auxílio à tomada de decisão e comprometida com os requisitos ambientais, configura-se como importante instrumento capaz de abarcar os índices de eficiência da edificação desde as etapas preliminares de concepção.

3.2. Definição do objeto de estudo

Para viabilizar o desenvolvimento da análise, adota-se um projeto arquitetônico como objeto de estudo. Tal projeto tem como características principais: (i) ter sido elaborado a partir de ferramentas

e premissas do sistema BIM; (ii) ter sido desenvolvido por um escritório de arquitetura brasileiro; (iii) ser projeto vencedor de um concurso que tratou os requisitos da sustentabilidade como premissa projetual.

Entende-se que a escolha de um único objeto de estudo submetido ao olhar de uma única pessoa não configura amostra significativa no universo de análises científicas. Cabe esclarecer, que para o desenvolvimento da análise, a autora se coloca no papel de interpretadora das imagens derivadas do processo de decomposição. Como o objetivo da análise é a interpretação dos elementos que emergem ao longo do processo de decomposição, a investigação do desempenho geral de uma ou outra solução projetual torna-se oportunidade para o debate acerca das dinâmicas inerentes aos processos de tomada de decisão. Assim, acredita-se que o objeto de estudo em questão se configure como instrumento e não como fim, adequado para os padrões estabelecidos pelo método proposto e capaz de enriquecer o estudo a partir de diferentes perspectivas.

O ato de *interpretar* uma informação, gráfica ou não, está relacionado à maneira como a informação é *percebida* (JOLY, 2009). No campo da arquitetura este processo se dá, em geral, através da percepção visual da imagem (PALLASMAA, 2005), seja esta representação (desenhos, modelos tridimensionais, vídeos e etc.) ou realidade (visita *in loco*). Sabe-se que a ação de *perceber* utiliza os canais sensoriais para proporcionar a interação entre indivíduo (com características pessoais, cultura, experiência) e, o ambiente (VOLKER, 2010, p.25). *Perceber e interpretar* são “operações mentais complementares, mesmo se temos a impressão de que são simultâneas” (JOLY, 2009, p.34).

A capacidade de *interpretar* está intimamente relacionada ao conhecimento adquirido através dos processos de aprendizagem e resulta, inevitavelmente, em um produto individualizado, uma vez que existem esquemas mentais e representações consideradas universais, arquétipos relacionados a experiências em comum entre os indivíduos, mas não significa, entretanto, que a leitura da imagem/informação será universal (JOLY, 2009).

Portanto, a interpretação proposta nesta tese não está, necessariamente, menos ou mais acertada do que outra, se consideradas, as mesmas intenções. Mesmo que se utilize um único objeto de estudo e se tenha ciência da unilateralidade do papel de interpretador, respeitadas as limitações resultantes, consideram-se válidas as questões elaboradas ao longo do processo de análise que resulta da decomposição.

Este tópico se concentra em dois itens principais: (i) apresentar o projeto arquitetônico selecionado como objeto de estudo; e, (ii) esclarecer a origem das informações que configuram o banco de dados de entrada das simulações propostas em sequência.

3.2.1 Requisitos de seleção do objeto de estudo

Os pré-requisitos inicialmente estabelecidos para a seleção do projeto a ser adotado para este estudo eram: (i) elaborado por um escritório de arquitetura com alguma experiência com o sistema BIM; (ii) modelado por ferramentas deste sistema; (iii) projeto completo; (iv) projeto de escala arquitetônica; (v) locado em território nacional.

- (i) *Elaborado por um escritório de arquitetura com experiência com o sistema BIM:* a implantação do sistema BIM nos escritórios de arquitetura e urbanismo no Brasil tem sido um desafio debatido por diferentes instâncias, entre outras, destacam-se a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA), o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU/BR) e o Sindicato da Construção (SINDUSCON). Diante deste cenário, parte-se da premissa de que um escritório com este perfil possa ter enfrentado desafios semelhantes aos debatidos na instância teórica, enriquecendo, portanto, a discussão dos temas abordados nesta tese;
- (ii) *Modelado por ferramentas do sistema BIM:* este requisito resulta do recorte proposto para o estudo. O projeto modelado em ferramenta BIM é um documento digital que pode ser disponibilizado em formato *Open* ou *Closed* BIM;
- (iii) *Projeto completo:* permite delimitar com mais precisão as etapas a serem exploradas durante a análise e processo de decomposição. Entende-se por projeto completo aquele que finalizou a etapa de projeto executivo, concluindo a fase de concepção e disponível para iniciar a fase de obra/canteiro;
- (iv) *Projeto de escala arquitetônica:* a escolha da escala do objeto de estudo permite restringir o cenário a ser analisado. Destaca-se que a escala do edifício pressupõe uma integração direta com o entorno urbano imediato;
- (v) *Locado em território nacional:* a definição do local reflete nas informações referentes às condicionantes ambientais. Dados climáticos, em geral, são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE/UFSC).

O passo inicial foi pesquisar alguns escritórios que pudessem se encaixar no perfil pré-estabelecido. O escritório contatado foi indicação do colega arquiteto e professor Adilson Luiz Amaral Junior, devido aos seus anos de experiência profissional dedicados à modelagem de projetos desde a fase de implantação do software Revit/Autodesk no escritório INSITE ARQUITETOS, cumprindo, assim, o primeiro requisito pré-estabelecido. Os demais requisitos se enquadravam no perfil do projeto disponibilizado pelo escritório para ser analisado. O projeto foi desenvolvido em 2014 para o concurso privado do edifício sede do SICCOB/CREDIARA em Araxá-MG. Como vencedor do concurso, o escritório INSITE ARQUITETOS foi responsável pela elaboração do projeto executivo e coordenação dos projetos complementares. As etapas de obra estão previstas para ter início em 2017. Os documentos de cessão do material digital do projeto para fins de estudo e elaboração desta tese estão disponibilizados nos anexos A e B.

3.2.2 Contexto geral

O escritório INSITE ARQUITETOS tem em sua equipe o arquiteto titular Frederico Paione, os arquitetos associados Marcela Fallavena Passagem e Pedro Rato, além do coordenador BIM Rodrigo Escobar.

O projeto disponibilizado para este estudo foi desenvolvido para o Concurso Privado SICCOB/CREDIARA para o Edifício Sede da agência da cidade de Araxá, Minas Gerais – Brasil. Como vencedor do concurso, foi responsável por desenvolver o projeto executivo de arquitetura e coordenar

a elaboração dos projetos executivos complementares (SICCOB, 2013), optando por um processo de projeto colaborativo com os profissionais parceiros. A tabela 8 apresenta uma síntese dos dados referentes ao projeto SICCOB, incluindo a descrição dos documentos digitais disponibilizados.

Tabela 8 : Dados de identificação do projeto utilizado como objeto de estudo. Fonte: Elaborado pela autora.

Dados de Identificação

Nome:	Projeto SICCOB – Crediara
Característica:	Projeto vencedor do Concurso Privado para a agência-sede da SICCOB/CREDIARA, Cooperativa de Crédito da Região de Araxá Ltda.
Escritório responsável:	INSITE ARQUITETOS
Material disponibilizado:	<ul style="list-style-type: none"> • Arquivo digital, formato *.rvt – software REVIT/Autodesk, versão 2015 • Arquivo digital, formato *.skp – software SketchUp/Trimble, versão 2015 • Arquivo digital, formato *.pdf – Pranchas submetidas ao Concurso. • Regulamento do Concurso • Termo de Referência • Ata Final de Julgamento • Restrições urbanísticas definidas pelo Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá (IPDSA). Disponível em: www.ipdsa.org.br
Observações	Os documentos na íntegra estão disponibilizados no Anexo.

Os documentos: (i) regulamento, (ii) termo de referência, (iii) ata final e (iv) restrições urbanísticas, configuram-se como base teórica para estabelecer os parâmetros e, por consequência, os indicadores definidos como orientadores da decomposição.

3.2.3 Projeto apresentado na etapa do concurso

O projeto em fase de estudo preliminar foi submetido à Banca Examinadora do concurso através de um conjunto de pranchas impressas em formato A1, em março de 2014, disponíveis para consulta no site⁸ do escritório INSITE ARQUITETOS. A tabela 9 apresenta o conjunto das pranchas em dimensão reduzida.

⁸ <http://www.insitearquitetos.com.br/projeto/sede-siccoob-crediara-2/>

Tabela 9 : Conjunto de pranchas apresentadas na etapa de avaliação do concurso. Organizado pela autora. Fonte: INSITE Arquitetos.

Imagem reduzida das pranchas submetidas ao concurso SICOOB/Crediara



Figura 13: Prancha 01/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.



Figura 14: Prancha 02/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.



Figura 15: Prancha 03/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.



Figura 16: Prancha 04/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.

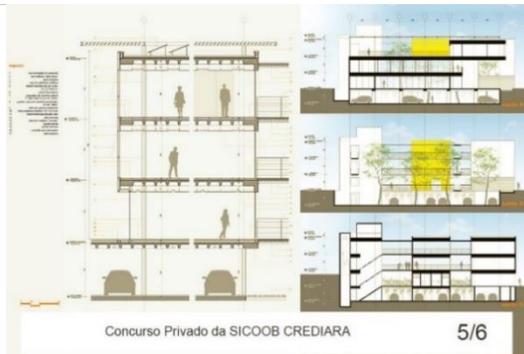


Figura 17: Prancha 05/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.



Figura 18: Prancha 06/06 Concurso SICOOB, 2014. Fonte: INSITE, 2014.

Para esta etapa, o modelo tridimensional foi desenvolvido no software de modelagem SketchUp/Trimble, versão 2015. Esta ferramenta é dedicada à geometria e recursos imagéticos, disponibilizando de uma ampla gama de plug-ins que ampliam o potencial de suas funções básicas. Esta ferramenta não faz parte do conjunto de softwares certificados pela organização *BuildingSMART*, o que não impede de ser um recurso especialmente útil para o diálogo entre os agentes do projeto, especialmente, nas fases preliminares da concepção projetual.

A partir do material disponibilizado, foi possível extrair dois modelos geométricos (figura 19-20) que se configuram, respectivamente, como base das análises desenvolvidas nas **etapas 02: nível de dados 100** e **etapa 03: nível de dados 200**.

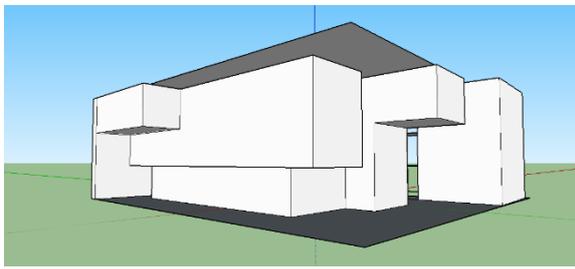


Figura 19 : Imagem extraída do software SketchUp v.2016. Modelo 3D da volumetria conforme partido projetual apresentado na prancha 01/06 para o Concurso SICOOB. Fonte: elaborado pela autora.



Figura 20 : Imagem extraída do software SketchUp. Modelo 3D da proposta do edifício para o Concurso SICOOB. Fonte: INSITE Arquitetos, adaptação da autora.

3.2.4 Fase de projeto executivo

A fase de projeto executivo foi desenvolvida após o resultado do concurso. O software utilizado para a modelagem da edificação foi o REVIT v.2015 da Autodesk (figura 21). O arquivo dispõe dos projetos arquitetônico, estrutural e elétrico, modelados e especificados (figura 22).



Figura 21 : Imagem extraída do software REVIT v. 2017. Modelo 3D do projeto em fase de executivo. Fonte: INSITE Arquitetos, adaptação da autora.

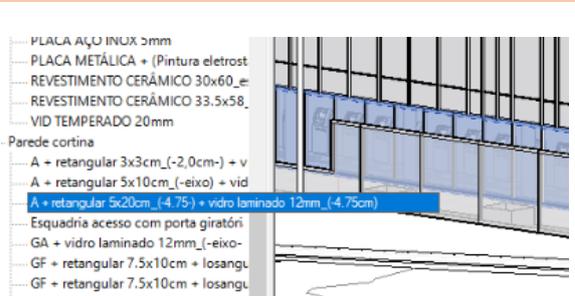


Figura 22 : Imagem extraída do software REVIT v. 2017. Cada elemento modelado apresenta uma especificação própria (ex.: cortina de vidro). Fonte: elaborado pela autora.

3.2.5 Contexto urbano

O terreno encontra-se no triângulo central da cidade de Araxá, situada a oeste de Belo Horizonte, capital do estado brasileiro de Minas Gerais. Com pouco mais de 100 mil habitantes, segundo estimativa do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cidade de Araxá se enquadra ao referencial populacional das cidades de médio porte – 100.001 a 500.000/habitantes (IBGE, 2016).

A administração pública dispõe do apoio do Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá – IPDSA, que tem como objetivo “ordenar o desenvolvimento urbano (...) visando melhores condições sociais, ambientais e econômicas para a população” (IPDSA, 2017). O IPDSA disponibiliza diversos documentos informativos e regulamentares a exemplo do Relatório de Indicadores Socioambientais e o Plano Diretor, ambos recomendados para consulta pelo edital do concurso. A tabela 10 apresenta uma coletânea de informações que se configuram como dados de entrada para as análises elaboradas neste trabalho.

Tabela 10 : Dados gerais do terreno – Araxá-MG, Brasil. Fonte: elaborado pela autora.

Dados gerais

Local:	Centro de Araxá – Minas Gerais, Brasil
Restrições urbanísticas: (Definidas pelo IPDSA)	Zoneamento: Zona Comercial 1 (ZC1) Taxa de Ocupação Máx.: 70% Taxa de Permeabilidade Mín.: 30% Índice de Cobertura Vegetal Mín.: 15% Coeficiente de Aproveitamento Máx.: 2,1 Altura Máx.: 10 metros
Terreno: <i>Fonte: Google Maps, atualização 17 de dezembro de 2015.</i>	
Observação:	O terreno localiza-se na área urbana central, inserido em uma malha de quadras regulares à leste de uma das principais avenidas da cidade (potencial fonte de ruído).

**Edificações
confrontantes:**

Fonte: Adaptado de Google Street View, atualização setembro de 2013.



Observação:

O entorno do terreno localizado na esquina, configura-se por edificações de baixo gabarito, em geral de 1 a 2 pavimentos. O edifício residencial imediatamente confrontante é exceção, apresentando 4 pavimentos.

A praça Dom Bosco tem considerável papel espacial no contexto urbano próximo ao terreno de estudo. A massa arbórea atual (figuras 23-24) é resultado do plantio feito há décadas.



Figura 23 : Praça Dom Bosco, Araxá-MG. Fonte: Google Street View, ago/2015.



Figura 24 : Vista aérea da Praça Dom Bosco e quadras confrontantes – sem data. Fonte: <http://ipdsa.org.br/menu/link/109/a-cidade>

A observação destas imagens levou a reflexão acerca de um tema não menos importante que os demais: o tipo de vegetação nativa ou adequada para a região. Araxá se localiza em região de cerrado (IPDSA, 2104), que dispõe de uma infinidade de tipologias arbóreas que integram este bioma (MMA, 2016). A proposta de um recorte mais reduzido – arborização urbana com espécies nativas do cerrado – permitiu encontrar no mínimo quatro espécies com porte próximo a 10 metros (tabela 11).

Tabela 11 : Custo das mudas de espécies de arborização urbana – bioma cerrado. Fonte: Lorenzo (2013).

Espécie (nome científico)	Nome popular	Altura
<i>Curatella americana</i>	Cajueiro-do-mato	6 – 10m
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	Jacarandá-de-minas	5 – 10m
<i>Pera glabrata</i>	Tabocuba ou laranjeira-do-cerrado	8 – 10m
<i>Qualea parviflora</i>	Pau-terra	6 – 10m

Considera-se que estas são espécies adequadas à região e apresentam perfil semelhante ao proposto para o projeto SICOOB (figura 20). A título de exemplo, o Jacarandá-de-minas tem potencial de crescimento considerado rápido, mas ainda assim, requer cerca de cinco anos para se tornar adulta. Com aproximadamente quatro anos e 5 metros de altura, tem o custo estimado em R\$780,00 (LEITE, 2017). Ciente da especificidade de cada espécie, o exemplo do Jacarandá-de-minas nos faz refletir sobre a potencial imprevisibilidade do índice de sombreamento gerado pela copa da árvore na envoltória da edificação. Diante disso, optou-se por executar as simulações no pior cenário, sem árvores, deixando a envoltória exposta, principalmente à incidência solar, como provavelmente acontecerá na fase de plantio das espécies após a execução do edifício e início da fase de uso e ocupação.

O terreno permanece desocupado desde 2013 (figura 25 - 26) aguardando o início das obras. As imagens registradas pelo *Google Street View* em agosto de 2015 demonstram o mesmo cenário, sem alterações significativas no entorno imediato ao terreno.



Figura 25 : imagem do terreno desocupado com a placa indicando a futura obra do projeto SICOOB. Fonte: Google Street View, set/2013.



Figura 26 : a imagem demonstra que o terreno permanece desocupado em 2015, inclusive, sem alteração na volumetria do entorno imediato. Fonte: Google Street View, ago/2015.

Diante disso, optou-se por utilizar a ferramenta do *Google Street View* para, através de identificação visual, elaborar o levantamento aproximado de gabarito das edificações do entorno para modelagem 3D (figura 27).



Figura 27 : Entorno do terreno modelado a partir de referências visuais tomadas pelo Google Street View em registros de set/2013 e ago/2015. Fonte: elaborado pela autora.

3.2.6 Condicionantes Climáticas

As condicionantes climáticas (tabela 12) reunidas neste tópico se configuram, em geral, como dados de entrada para as análises desenvolvidas ao longo da decomposição.

Tabela 12 : Dados Climáticos. Fonte: elaborada pela autora, a partir de fontes diversas.

Dados de Climáticos

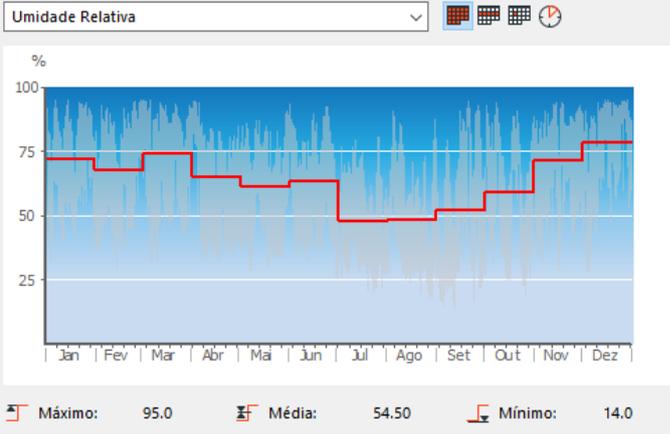
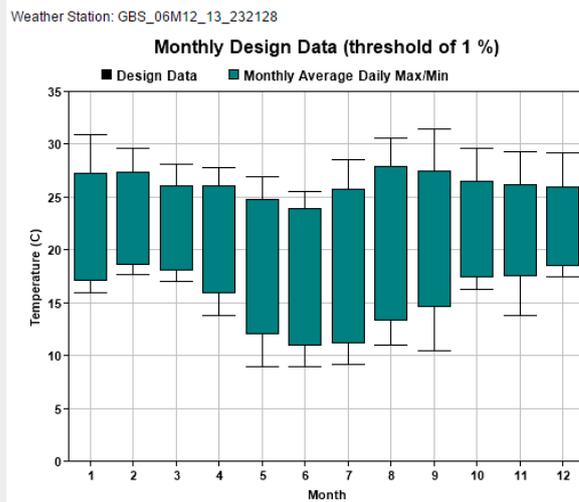
Latitude:	19° 59' S
Longitude:	46° 93' W
Estações Meteorológicas:	Estação A505 - OMM 86796 – referência: INMET, formato de arquivo *.epw (estação em Araxá). Lat.: -19,6°; Long.: -46,93° Estação GBS ID 840093: GBS_06M12_13_232128 – referência: Autodesk (5.2km do ponto do projeto). Lat.: -19,57°; Long.: -46,90°; Alt.: 999m.
Observação:	O software Green Building Studio / Autodesk não permite a entrada de um banco de dados climático externo. Disponibiliza as estações mais próximas para escolha do usuário. Energy Code Climate Zone: 2A
Aspectos Físicos:	Os dados descritos a seguir estão disponíveis no Relatório de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável de Araxá (IPDSA, 2014). Disponível em: www.ipdsa.org.br . O relatório tem como principal fonte de referência o INMET/5° Distrito de Meteorologia – Estação Araxá.
Tipo de clima:	Subtropical úmido
Umidade relativa:	69,7% média anual Período: 1986 a 2013 Fonte: (IPDSA, 2014)
Umidade relativa: <i>Fonte: Gráfico gerado no software ARCHICAD / Graphisoft. Arquivo disponibilizado pelo INMET, formato *.epw. (acervo do autor).</i>	 <p>Máximo: 95.0 Média: 54.50 Mínimo: 14.0</p>
Precipitação:	Média anual: 1.560,3 mm concentrados nos meses de outubro a março. Fonte: (IPDSA, 2014)
Temperatura: <i>Fonte: (IPDSA, 2014)</i>	Período: 2001 a 2013 Mín. 21°C Máx. 21,7° C
Temperatura:	Média mensal de temperatura (°C).

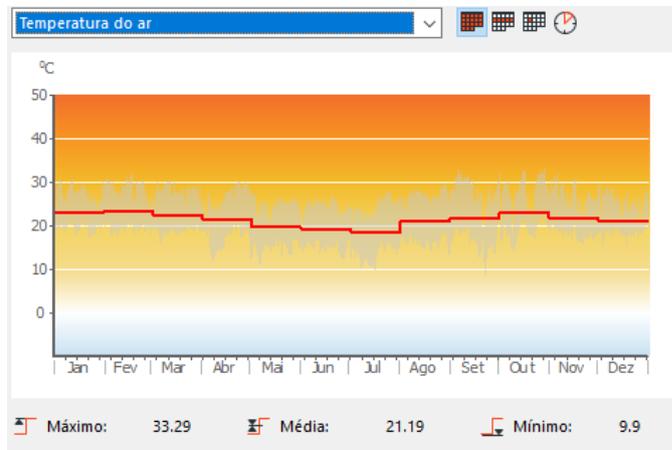
Gráfico gerado no software Green Building Studio/Autodesk (acervo do autor).



Temperatura:

Média mensal de temperatura (°C).

Gráfico gerado no software ARCHICAD / Graphisoft. Arquivo disponibilizado pelo INMET, formato *.epw. (acervo do autor).



Pressão Atmosférica:

902,7Pa Média anual Período: 2005 a 2013 (IPDSA, 2014)

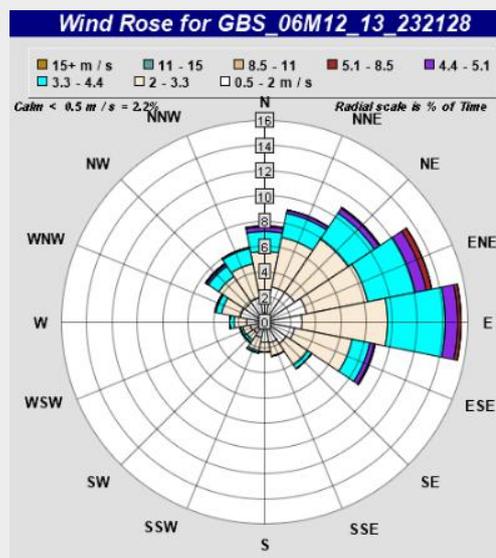
Ventos:

Direção dominante: Leste / Oeste

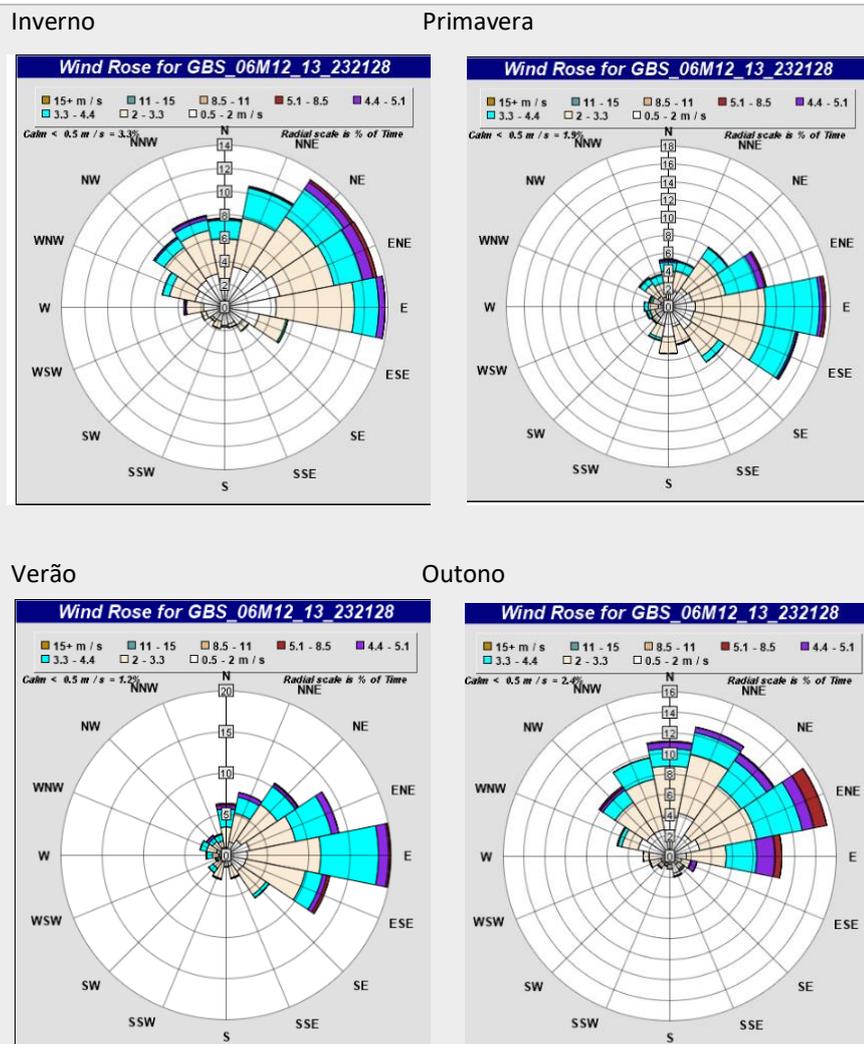
Ventos:

Velocidade e distribuição dos ventos, período anual (m/s).

Gráfico gerado no software Green Building Studio/Autodesk (acervo do autor).



Velocidade e Distribuição dos ventos por estação do ano (m/s).



Observação:

A escala de Beaufort determina:
 Grau 2 – brisa leve: 1,6 a 3,3 m/s
 Grau 3 – brisa fraca: 3,4 a 5,4 m/s
 Grau 4 – brisa moderada: 5,5 a 7,9 m/s

A terceira parte da norma brasileira NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais Unifamiliares de Interesse Social (ABNT, 2005) – apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. O software ZBBR 1.1 (RORIZ, 2004), com base na NBR 15220, gera uma tabela de síntese (figura 28) das características e recomendações relativas ao Zoneamento de uma determinada cidade cadastrada, sendo a cidade de Araxá inserida na Zona 3.

Em 2012, a ANTAC publicou o estudo de Maurício Roriz para a revisão o zoneamento previsto pela NBR 15220. Na versão proposta por Roriz (2012), a cidade de Araxá se enquadra na ZB 10, com o código B1D2, devido aos valores: Média Anual da Temperatura do Ar (22°C); diferença entre a maior e a menor Temperatura Média Mensal: 5.1°C; Média Anual da Amplitude Térmica: 9.65°C; e diferença entre a maior e a menor Amplitude Térmica Mensal: 5.2°C (RORIZ, 2012).

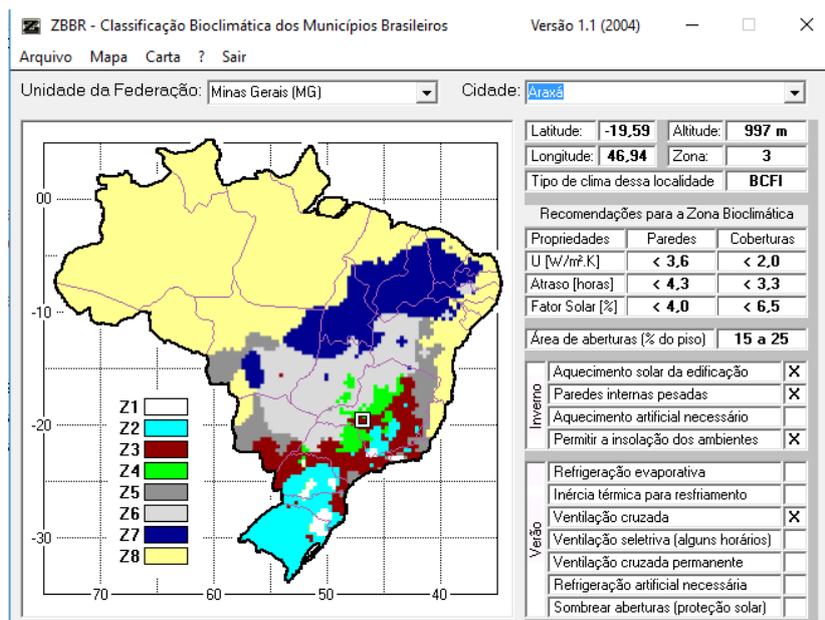


Figura 28 : Classificação bioclimática da cidade Araxá, MG, com base no zoneamento previsto na NBR 15220. Fonte: RORIZ (2004).

Já o software Analysis-Bio v.2.2 (LABEEE, 2010), gera o diagrama Bioclimático (figura 29) com as Normais de temperatura e umidade de uma determinada cidade a partir do seu referente banco de dados climáticos.

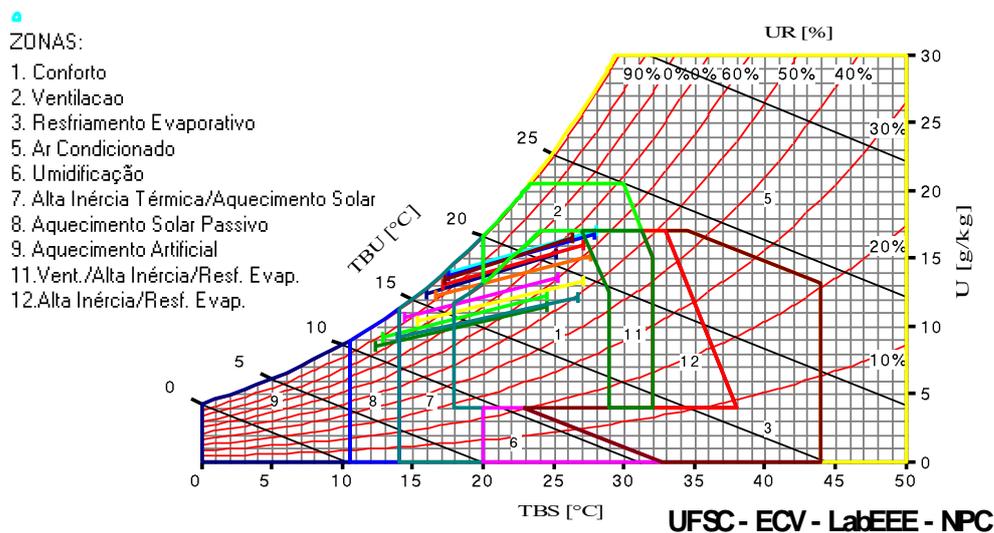


Figura 29 : Carta bioclimática – Araxá, MG, Brasil. Fonte: Analysis-Bio/LABEEE/UFSC

O diagrama expõe as normais para a cidade de Araxá-MG e demonstra as condições de temperatura e umidade durante os diferentes meses do ano. Os meses de agosto, setembro e outubro destacam-se com cerca de 70% do período na zona de conforto, com pequena demanda de estratégias de

“Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica” nos dias mais frios. Em segundo plano, aparece demanda por ventilação em curtos períodos dos meses de verão. Estas observações reforçam a cautela com as potenciais cargas térmicas incidentes na envoltória, dosando a captação de maneira proveitosa nos períodos necessários e evitando o aquecimento excessivo nos períodos já enquadrados na zona de conforto.

3.3. Diretrizes para a decomposição

Para expor – com certo grau de transparência – todo o processo de decisão, os problemas e as possíveis soluções foram registrados e justificados no *Mapa de Decisões* apresentado posteriormente à conclusão das etapas de decomposição. O mapa configura-se como um documento de registro dos pontos de inflexão, gerados por questões ou problemas projetuais e, dos pontos de alavanca, gerados pela escolha de uma das soluções dentre um conjunto de opções plausíveis. A estrutura do mapa toma por base a sequência proposta para a decomposição e apresenta o percurso resultante de um conjunto de decisões tomadas pela autora com base na interpretação de dados objetivos processados durante a análise. Em paralelo, registram-se os dados de entrada utilizados com vistas a estabelecer uma intersecção entre os níveis de detalhes (*Level of Detail*) do modelo geométrico digital e os níveis de dados (*Level of Data*) necessários à análise de certos requisitos ambientais.

Cabe esclarecer que a proposta das análises desenvolvidas a cada etapa não objetiva estabelecer uma ou outra melhor solução, e sim, expor o comportamento do projeto – ainda em fase de modelo geométrico digital – diante da inter-relação com as condicionantes climáticas e projetuais pré-existentes. A tabela 13 apresenta o conjunto de conceitos e diretrizes estabelecidos para a decomposição.

Tabela 13 : Degraus de evolução do projeto ao longo da elaboração do modelo geométrico digital. Fontes: Elaborada pela autora, a partir de AIA (2013) e HOYET et al (2016).

	000 / ND1	LoD 100 / ND1	LoD 200 / ND2	LoD 300 / ND3	LoD 350 / ND3	LoD 400 / ND4	LoD 500 / ND5	LoD 600 / ND6
<i>Descrição</i>	Descreve a preparação dos dados, efetivados pelo gerenciamento de projeto e da redação do programa.	Descreve o surgimento do conceito arquitetônico, bem como as análises do conjunto do contexto da operação.	Caracterizado pelo aprofundamento do projeto arquitetônico em conformidade com a regulamentação. O produto final é apresentado aos órgãos competentes para a permissão de construir.	Tem como objetivo detalhar o trabalho conjunto dos engenheiros e arquitetos que definem todos os elementos e dispositivos construtivos.	Semelhante ao LoD 300, mas introduz a identificação e a descrição de interfaces, permitindo a solução de conflitos técnicos.	Refere-se ao desenvolvimento do canteiro, ou seja, pela execução do objeto projetado.	Caracterizado pela documentação das obras como executadas.	Caracterizado pela gestão técnica da edificação. Atualização do modelo geométrico digital em resposta às demandas.
<i>LoDevelopment</i>	Programação	Concepção	Concepção	Concepção	Compatibilização	Construção	Construção	Operação
<i>LoDetail</i>	Não se aplica.	Detalhes compatíveis com estudo preliminar.	Detalhes compatíveis com anteprojeto e projetos complementares.	Detalhes compatíveis com projeto executivo.	Detalhes compatíveis com projeto executivo.	Inclui detalhes de fabricação, montagem e instalação.	Inclui detalhes do objeto já construído (as-built).	Altera os detalhes segundo demandas de operação até o fim da vida útil.
<i>LoData</i>	Documentação descritiva, textual e gráfica quando necessário.	Informação gráfica: Simplificada Informação textual: Conceitual	Informação gráfica: Genérica Informação textual: Genérica	Informação gráfica: Precisa Informação textual: Precisa	Inf. gráfica: Precisa Inf. textual: Precisa	Modelo digital interativo com o objeto em construção.	Modelo digital = objeto construído.	Modelo zero = base digital para novas ações sobre o objeto.
<i>Conteúdo</i>	Documentos regulamentadores, condicionantes projetuais, condicionantes ambientais e etc.	Volumetria simplificada do objeto relacionada a outros conteúdos de interesse. Anotação das intenções e definições projetuais.	Volumetria em construção. Dispõe de definição generalizada dos componentes do objeto. Ex.: fechamentos opacos, transparentes, permeáveis e etc.	Volumetria definida. Dispõe de especificação clara dos componentes do objeto. Ex.: Cortina de vidro c/ montante em alumínio, perfil retangular 5x20, vidro laminado 12mm e etc.	Volumetria com definição específica dos componentes do objeto.	Componentes volumétricos com detalhamento e especificações atualizados.	Componentes volumétricos detalhados e especificados.	Modelo resultante do LoD 500 acrescido de conteúdos a definir.
<i>Ícone</i>								
<i>Objeto de estudo</i>						Não existente até a data deste estudo.	Não existente até a data deste estudo.	Não existente até a data deste estudo.
<i>Análises recomendadas</i>	Estudo de viabilidade do empreendimento.	Cálculo estimado de desempenho para as superfícies do volume e de custo/m ² para a área. 	Cálculo aproximado de desempenho acerca de um ou outro sistema. Análise 	Cálculo de desempenho e índices de eficiência.	Solução de conflitos técnicos entre as disciplinas.	Cálculos baseados em parâmetros de construção real.	Cálculos de desempenho <i>in loco</i> .	A definir segundo demanda.
<i>Dados necessários</i>	A definir segundo critério da equipe responsável.	Modelo volumétrico simples, indicação de orientação e geolocalização.	Informações generalizadas da envoltória e dos materiais, indicação de orientação e geolocalização.	Informações precisas de desempenho da envoltória e dos materiais.	Informações precisas dos componentes do objeto.	Informações precisas. Diálogo permanente com a equipe de canteiro.	Informações dos componentes como executados e recomendações de uso e manutenção.	A definir segundo critério da equipe responsável.

3.4. Etapa 01 – Nível de dados 000

A primeira etapa aborda o conjunto de documentos delineadores do concurso para o qual foi desenvolvido o projeto adotado como objeto deste estudo. Esta etapa tem como objetivo elaborar um diagnóstico com vistas a estabelecer os parâmetros e indicadores norteadores da análise. Para tal, adota por base as premissas apresentadas na tabela 13, coluna referente ao item 000.

A tabela 14 apresenta o material utilizado para o desenvolvimento do diagnóstico desta etapa:

Tabela 14 : Material de referência para a Etapa 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Fonte	Conteúdo
	<p>O Regulamento contém: objeto do concurso, comissão organizadora e julgadora, condicionantes e exigências projetuais, critérios para inscrição e participação, cronograma, ata de julgamento e premiação;</p> <p>A <i>comissão julgadora</i> foi composta por sete componentes: um engenheiro civil, três arquitetos e urbanistas e três membros administrativos da Cooperativa de Crédito da Região de Araxá Ltda - CREDIARA (presidente, diretor financeiro e diretor administrativo). E, por fim, o coordenador do concurso é engenheiro civil.</p> <p>A <i>Ata de Julgamento</i> cita, entre outros méritos, a “(...) setorização e vegetação integrada que dá qualidade aos ambientes (...) e boa eficiência energética natural (...)” (SICOOB, 2014, p.3).</p> <p>O Termo de Referência contém: programa de necessidades, critérios de avaliação e condicionantes do projeto.</p> <p>Documentos anexos de restrições urbanísticas e levantamento planialtimétrico.</p>
	<p>A consulta ao IPDSA, assim como ao IBGE, foi recomendada no documento do Termo de Referência do concurso para acesso a dados sobre “variáveis climáticas e ambientais da cidade, como temperatura do ar, umidade, precipitação, radiação, nebulosidade e regime de ventos” (SICOOB, 2013, p.4).</p>

3.4.1 Termo de Referência – definição das diretrizes projetuais

A tabela 15 foi elaborada a partir de informações dispostas no texto do Termo de Referência do concurso (SICOOB, 2013), com vistas a expor os critérios e as condicionantes projetuais de interesse dos investidores. A reflexão acerca destas informações nos permite estabelecer os parâmetros e indicadores definidos como orientadores da análise a partir da decomposição.

Tabela 15 : Síntese das diretrizes projetuais disponibilizadas no Edital do Concurso SICOOB/Crediara para o edifício sede em Araxá - MG. Elaborado pela autora.

Diretrizes projetuais pré-estabelecidas

Documento:	Termo de Referência do Concurso Privado para a agência-sede da SICOOB CREDIARA – Cooperativa de Crédito da Região de Araxá Ltda.
Tipologia do edifício:	Agência bancária. Composta de setores de atendimento, escritórios, setores técnicos e de apoio.
Crítérios:	Recomendações estabelecidas para cada critério:
<ul style="list-style-type: none"> • Mobilidade 	Acesso facilitado ao edifício.
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade 	Adequação a possíveis ampliações.
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência Energética 	Reduzir o consumo de energia; Aumentar a eficiência; Aumentar o conforto do usuário; Uso misto – ventilação natural e artificial; Potencializar o uso de ventilação natural; Potencializar o uso de iluminação natural; Controlar ganhos de calor através da envoltória.
<ul style="list-style-type: none"> • Gestão da água 	Uso racional e estratégias de reuso.
<ul style="list-style-type: none"> • Paisagem e contexto urbano 	Explorar o impacto estético do edifício como referência em arquitetura sustentável para a cidade de Araxá-MG.
<ul style="list-style-type: none"> • Materiais e resíduos 	Reduzir o custo de manutenção; Aumentar a eficiência na execução.
<ul style="list-style-type: none"> • Evolução e inovação 	Aumentar a qualidade; Reduzir custos.
<ul style="list-style-type: none"> • Segurança e patrimônio 	Aumentar a resistência à vandalismo e pichações.
Objetivos gerais:	<ul style="list-style-type: none"> • O edifício deve ser projetado para um horizonte de 20 anos; • Projetar de acordo com técnicas de construção e com base em critérios de sustentabilidade.

Os itens selecionados na tabela 15 colocam em destaque os critérios que corroboram com os requisitos ambientais estabelecidos para o recorte deste estudo. Definir parâmetros e indicadores é primordial para conferir caráter objetivo ao complexo processo de tomada de decisões.

3.4.2 Parâmetros e indicadores

Um sistema considerado complexo implica em imprevisibilidade e prováveis mudanças em seu interior (LE MOIGNE, 1977). Por consequência, os componentes deste sistema e suas conexões não podem ser completamente identificáveis, definíveis ou mapeáveis (SNOWDEN, 2003). O indicador permite que um sistema complexo possa ser compreendido através de um processo de decomposição, proporcionando embasamento para a tomada de decisões. Deve-se manter certo grau de dependência entre seus componentes e entre esses componentes e o todo (SIMON, 1996). Considera-se, ainda, que a solução das partes não garante, necessariamente, a solução do todo em se tratando de um sistema complexo (MORIN, 2006). Portanto, para o indivíduo frente à interpretação de tais indicadores, recomenda-se manter uma visão sistêmica sobre o objeto.

Em síntese, entende-se que a decomposição de um sistema está vinculada à definição de parâmetros de interesse, com vistas a alcançar uma solução de compromisso através da análise do comportamento do sistema em relação a cada um dos parâmetros previamente definidos. Definir indicadores, que a princípio, são resultantes de enfoques monocriteriais, permitirá elaborar respostas numéricas do sistema com relação aos parâmetros estabelecidos. Os valores resultantes permitem, por sua vez, estabelecer um ranking de desempenho – de diferentes cenários – que deve ser analisado através de uma abordagem multicritério a fim de alcançar uma solução de compromisso (SIMON, 1996; VINCKE, 1989; SILVA; OLIVEIRA; SCALETSKY, 2005; BUCHANAN, 1992; FONTENELLE E BASTOS, 2014).

O processo de decomposição proporciona a compreensão dos diferentes níveis de desenvolvimento do objeto modelado em ferramenta BIM. A cada nível de desenvolvimento do modelo, em razão do nível de detalhes e do nível de dados disponíveis, pode-se definir parâmetros e indicadores adequados para o desenvolvimento da análise de interesse. Os resultados têm caráter preliminar e demandam novas investigações à medida que dados são alterados ou incorporados ao modelo. Portanto, a proposta deste estudo concentra-se na análise preliminar de diferentes parâmetros, procurando manter exposta, na medida do possível, a malha de relações estabelecidas entre eles.

3.5. Etapa 02 – LoD 100

Esta etapa concentra-se em analisar a volumetria resultante do partido projetual exposto na Prancha 01/06, apresentada pelos proponentes na fase de seleção do concurso. Utiliza, portanto, o modelo geométrico digital em etapa de estudo de massa, ou seja, volumetria apenas com subdivisão de pavimentos, sem aberturas ou qualquer especificação das superfícies. O objetivo desta etapa está centrado em elaborar (i) diagnóstico com base nos critérios pré-estabelecidos e (ii) análise orientada pelos parâmetros e indicadores definidos a partir da demanda identificada no diagnóstico. Para tal, adota as premissas apresentadas na tabela 13, coluna referente ao item LoD 100.

3.5.1 Percepção do entorno e suas condicionantes

O material de referência para esta etapa deriva das intenções projetuais e do conceito volumétrico expostos na Prancha 01/06. Optou-se por estabelecer duas escalas de aproximação do objeto em relação ao entorno com vistas a investigá-las com base em requisitos ambientais.

A primeira escala abrange a relação da envoltória da edificação com o entorno no perímetro da quadra. Em sequência, ela é aproximada para as relações estabelecidas com o entorno imediato da envoltória.

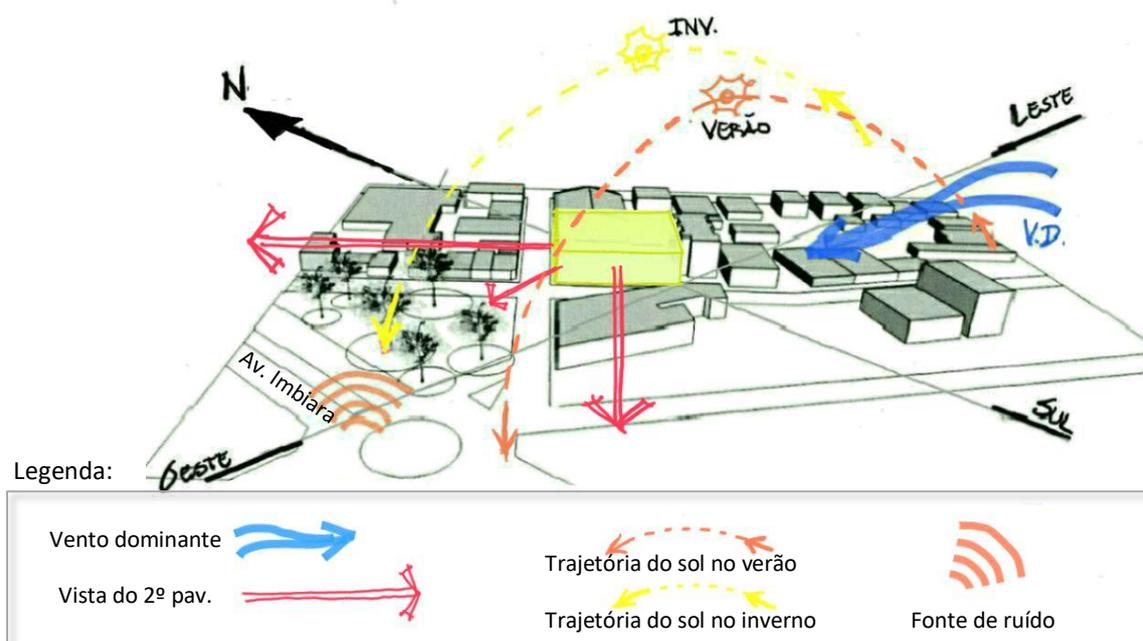


Figura 30 : Diagrama de mapeamento das condicionantes do entorno. Fonte: elaborado pela autora.

Interpretações do desenho 01 (figura 30):

- (i) A locação do terreno na esquina entre as ruas Mariano de Ávila e Dom Bôsko resulta na exposição das superfícies de testada para o Noroeste e o Sudoeste;
- (ii) A Av. Imbiara é uma das vias arteriais da malha urbana de Araxá-MG, o que resulta em uma provável zona de geração de ruído derivado do fluxo de veículos e pedestres, especialmente, em horário comercial;
- (iii) De acordo com os dados da estação climática de Araxá (tabela 12), o vento dominante vem do quadrante Leste. Portanto, o edifício vizinho se configura como um obstáculo relevante à incidência do vento dominante no volume de estudo. Por consequência, as testadas Noroeste e o Sudoeste sofrem pressão negativa, não favorecendo a abertura de esquadrias para ventilação cruzada;
- (iv) O gabarito do entorno⁹, predominantemente baixo, favorece o alcance do campo visual para os usuários a partir do 2º pavimento;

⁹ Fonte: Google Maps - set/2013 e ago/2015

- (v) A praça configura-se como um espaço de subtração da massa construída no conjunto de quadras confrontantes ao edifício, locada entre ele e a Av. Imbiara (item ii). Além de ter, entre outros, importante papel espacial possibilitando a ampliação do campo visual do pedestre até o edifício.

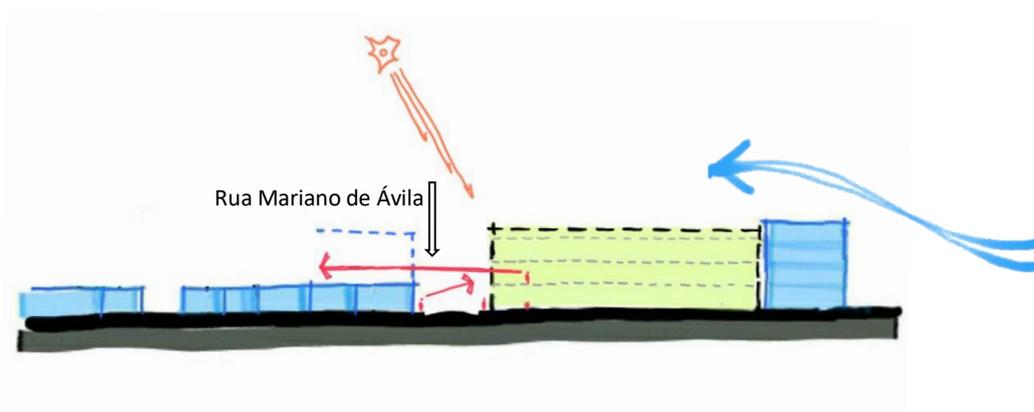


Figura 31 : Croqui esquemático - corte transversal. Demarcação do perímetro volumétrico de projeto com divisão de pavimentos e relação de visadas do pedestre para o edifício e do indivíduo no segundo pavimento para o entorno. Fonte: elaborado pela autora.

Interpretações do desenho 02 (figura 31):

- (i) O perímetro demarcado representa os limites de afastamento e gabarito admitidos para o terreno. Contudo, a ocupação não é determinada apenas por estes dois fatores, mas ainda assim, estes podem ser considerados referenciais limítrofes da área de projeto;
- (ii) Considerando a configuração urbana atual, observa-se que, a partir do segundo pavimento, o indivíduo pode ter o alcance visual estendido devido à ausência de obstáculos imediatos a seu plano de visão. Contudo, as restrições urbanísticas da região preveem o gabarito limite de 10m, ou seja, o alcance da visada pode ser consideravelmente reduzido em razão de futuras construções;
- (iii) O eixo de visada do pedestre para o edifício também pode se configurar como uma questão de interesse.
- (iv) A edificação confrontante é um edifício residencial de quatro pavimentos e configura-se como um obstáculo à ventilação dominante e à insolação direta incidente do quadrante Sudeste;

Considerando a tipologia do projeto, entende-se que algumas particularidades devem ser consideradas:

- (i) O nível de segurança necessário às agências bancárias demanda um controle rígido das aberturas, especialmente nas fachadas voltadas para a rua. Em termos projetuais, pode resultar em áreas de fachada cega, áreas envidraçadas sem sistemas de abertura ou áreas com certo grau de permeabilidade controlada.
- (ii) A privacidade é uma questão associada à segurança e, portanto, demanda controle dos fluxos, de som/ruído e, entre outros, do campo visual.

Diante deste panorama preliminar, pode-se elaborar algumas reflexões e estabelecer uma questão de partida.

A interferência do ruído advindo da Av. Imbiara no desempenho da tarefa no interior do edifício, provavelmente, será minimizada em razão da distância, da densidade da arborização da praça e da própria característica da envoltória. Contudo, para avaliar com precisão é necessário simular com dados aferidos *in loco*, o que não foi feito para esta fase da pesquisa, mas pode se considerar como um potencial desdobramento deste mesmo estudo.

Neste mesmo sentido, observa-se que as fachadas orientadas ao quadrante Leste se deparam com edificações imediatamente confrontantes, configuradas como obstáculos à direção predominante do vento. Sendo a ventilação dominante Leste → Oeste (figura 31), a tendência é a criação de zonas de pressão negativa nas fachadas voltadas para a rua, pois estão orientadas a Noroeste e Sudoeste.

Observa-se que o gabarito do entorno, a princípio, não apresenta obstáculo significativo à radiação nas fachadas voltadas para a rua, deixando-as expostas principalmente à incidência advinda do quadrante Oeste. A incidência solar pode resultar em aquecimento excessivo e ofuscamento quando incidida diretamente sobre as superfícies de fachada e áreas de trabalho. O que nos leva a elaborar a seguinte questão:

- Neste caso, quais relações podem ser estabelecidas entre a volumetria da edificação, a composição de sua envoltória, o perfil das fenestraçãoes e a incidência solar?

Para investigação de possíveis soluções para as questões elaboradas, foram estabelecidos os seguintes parâmetros (tabela 16):

Tabela 16 : Apresentação de parâmetros, indicadores e unidades de medidas adotados. Fonte: Elaborado pela autora.

Parâmetros	Indicadores	Unidades de medida
Desempenho térmico	Radiação solar direta anual	Kilowatt hora/m ² /ano (kWh/m ² /a)
	Irradiação solar	Watt / metro quadrado (W/m ²)

Observação: Os indicadores são reavaliados a cada etapa da decomposição e são, especificamente definidos, em razão da demanda de verificação das possíveis respostas à um determinado problema.

3.5.2 Insolação

O termo Insolação refere-se à quantidade de radiação proveniente do Sol e incidente sobre uma determinada superfície. O Sol emite tipos variados de radiação, que se distinguem no espectro eletromagnético pelos diferentes comprimentos de onda. A luz é um tipo de radiação visível com comprimento de onda entre 400nm e 700nm. Os raios infravermelhos, responsáveis pelo aquecimento, possuem comprimento de onda acima de 700nm (FERNANDES, 2008).

Ao incidir sobre uma superfície, a radiação direta do sol, ou seja, os raios solares infravermelhos de onda curta, irão aquecê-la. O aquecimento está sujeito à intensidade da fonte de calor e às

características de composição da superfície - opaca, translúcida ou transparente – podendo, ainda, ser mais ou menos reflexiva (FROTA, 2004). Neste caso, a cor e a porosidade são fatores que determinam o índice de reflexão de uma superfície, negro absoluto (0%), cor preta (próximo a 10%) e cor branca (até 95%). Sendo que, o material polido tem maior capacidade de reflexão do que o material poroso (FERNANDES, 2008; FROTA, 2004).

A parcela de radiação não refletida passa a ser absorvida pelo meio material opaco aquecendo-o, como também ao ambiente circundante a partir da troca de calor por convecção / radiação ou condução. A análise do aquecimento de uma superfície por radiação solar depende basicamente dos dados de geolocalização e orientação da superfície analisada assim como seu período de exposição. Portanto, o uso da carta solar associado às ferramentas digitais configura-se como importante ferramenta de análise da insolação incidente nas superfícies de envoltória da edificação (FROTA, 2004).

Para superfícies transparentes, como o envidraçamento da cortina de vidro, a energia de onda curta que incide na superfície mais externa é parcialmente refletida e parcialmente transmitida (figura 32). Dentro das camadas de vidro e dos componentes da esquadria, ocorrem outras reflexões e parte da energia é absorvida dentro do próprio material, aumentando a sua temperatura (CLARKE, 2007). Portanto, transmissão, reflexão e absorção são parâmetros determinantes ao se considerar a quantidade de radiação solar que passa através de vidros (HAUSLADEN et al, 2006).

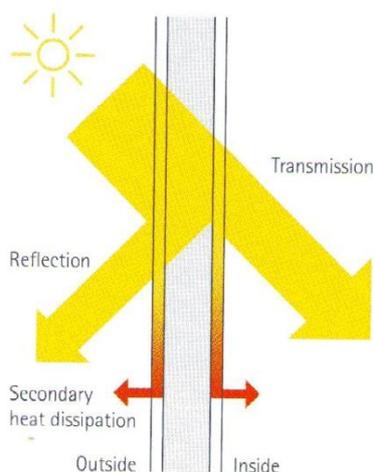


Figura 32 : Radiação solar incidente no vidro.
Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p. 124)

Portanto, o método adotado deve ser capaz de prever a posição da superfície em relação ao feixe solar e avaliar o padrão móvel de insolação das superfícies internas e externas, a fim de que a modelo digital simule com precisão os índices de insolação (CLARKE, 2007).

Camadas de sombreamento podem ser adicionadas, interna ou externamente, à superfície envidraçada (figura 33 - 34) com vistas a reduzir a entrada de radiação (HAUSLADEN et al, 2006).

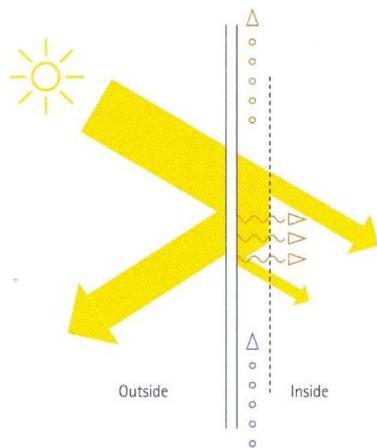


Figura 33 : Proteção solar **interna** ao vidro. Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p.134).

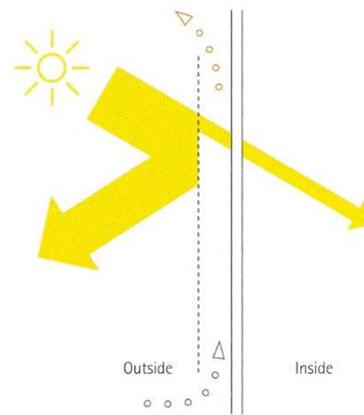


Figura 34 : Proteção solar **externa** ao vidro. Fonte: (HAUSLADEN et al, 2006, p.134).

A estrutura de sombreamento deve ser capaz de controlar a entrada de radiação direta, considerando ainda, a entrada de luz do dia e o campo de visão para o exterior. Quando instalada externamente, pode ser de três e cinco vezes mais eficiente, apesar de estar exposta às intempéries. Internamente, apesar de menos eficiente, os recursos de sombreamento têm menor custo e podem ser ajustados mais facilmente pelos usuários. Uma terceira alternativa é a instalação do componente de sombreamento entre as camadas de vidro da esquadria. Apesar de serem considerados dispositivos eficazes, podem dispor de limitações quanto ao ajuste e conseqüente redução da visibilidade ao exterior (HAUSLADEN et al, 2006).

3.5.2.1 Carta solar



A carta solar estereográfica utilizada e o respectivo transferidor foram desenhados a partir do gráfico gerado através do software gratuito Sol-Ar (versão 6.2) para a latitude de 19.59° SUL, equivalente à cidade de Araxá-MG, Brasil (LABEEE, 2009). A carta solar representa, graficamente, o percurso do sol na abóbada celeste da Terra. A representação pode ser bi ou tridimensional dependendo da ferramenta utilizada. As linhas em arco na horizontal representam os meses do ano e, na vertical, os horários de insolação (BITTENCOURT, 2004).

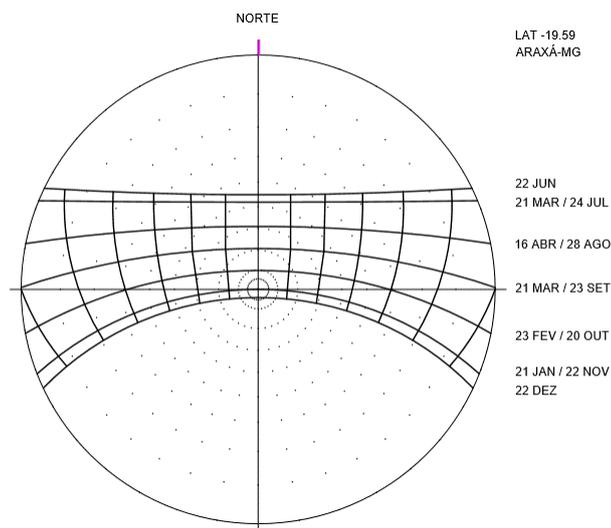


Figura 35 : Carta solar estereográfica, latitude 19.59 SUL, Araxá-MG, Brasil.
 Fonte: Software Sol-Ar 6.2 (LABEEE/UFSC), adaptação da autora.

Para o estudo da carta solar, deve-se dedicar especial atenção aos dados de orientação e geolocalização relativos à implantação do objeto. A geolocalização determinará dados de latitude, longitude e altitude, permitindo, inclusive, a identificação de estações meteorológicas próximas.

A orientação geográfica por sua vez, é definida pelo eixo geográfico da Terra, determinando o Norte Verdadeiro indicado na carta solar. Se, a orientação do Norte for determinada a partir de uma leitura de bússola, este será o Norte Magnético e deverá ter sua angulação corrigida pela declinação magnética no caso de ser utilizado para fins de estudo solar (BITTENCOURT, 2004). A declinação magnética é específica para cada local e muda gradativamente com o tempo. Em 01/01/2016 para a cidade de Araxá, latitude 19.59 S e longitude 46.56 W, o ângulo de declinação magnética é da ordem de 21°52' W, mantendo uma variação anual de 0.11° com o grau de incerteza de 0.37° (NOAA, 2017).

Contudo, o material disponibilizado pelo escritório INSITE apresenta a locação do terreno já determinada em relação ao Norte Verdadeiro, não sendo desnecessária, neste caso, a correção com base no ângulo de declinação magnética. Os dados foram compatibilizados com a vista área do terreno disponível no Google Earth. A testada do terreno voltada para a rua Mariano de Ávila está 42.10° a Leste do Norte Verdadeiro (figura 36).

Primeiramente, pôde-se construir a máscara de obstrução (de sombra) do entorno edificado. Este recurso permite avaliar a interferência das edificações do entorno em relação a um ponto específico de referência (BITTENCOURT, 2004; FROTA, 2004). Em consequência do interesse voltado para o grau de exposição das fachadas potencialmente frontais do edifício, determinou-se o ponto de referência indicado pela seta, próximo à aresta do terreno, como centro da análise (figura 36).

Com o auxílio de um transferidor, pôde-se identificar os ângulos resultantes da conexão entre o ponto de referência e a aresta das edificações do entorno imediato, respectivamente, a partir da implantação (figura 36) e dos cortes transversal e longitudinal alinhados ao ponto de referência (figura 37 - 38).

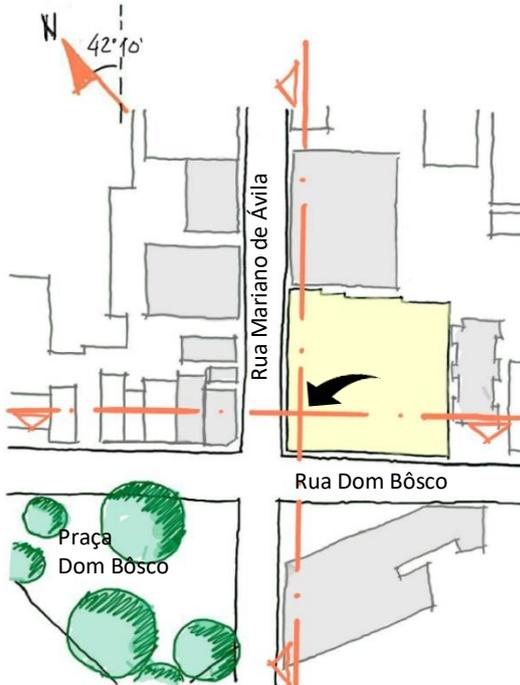


Figura 36: Implantação esquemática. Sem escala.
Fonte: elaborado pela autora.

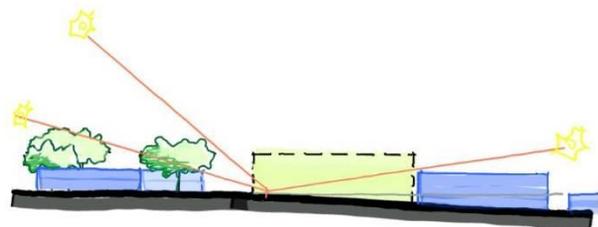


Figura 37: Corte esquemático longitudinal. Sem escala.
Fonte: Elaborado pela autora.

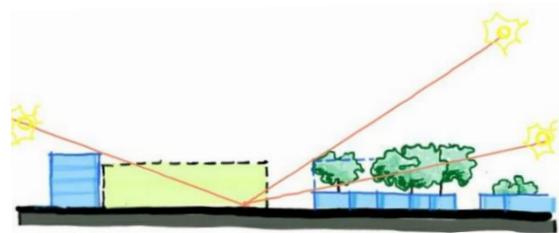


Figura 38: Corte esquemático transversal. Sem escala.
Fonte: elaborado pela autora.

A máscara de obstrução (figura 39) foi elaborada para dois cenários específicos: (i) situação real: considera o gabarito aproximado das edificações mapeadas (Fonte: Google Street View – dados registrados em setembro, 2013 e agosto, 2015); (ii) situação hipotética: gabarito limite de 10 metros, determinado pelas restrições urbanísticas divulgadas pelo Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá - IPDSA (Fonte: IPDSA, 2013).

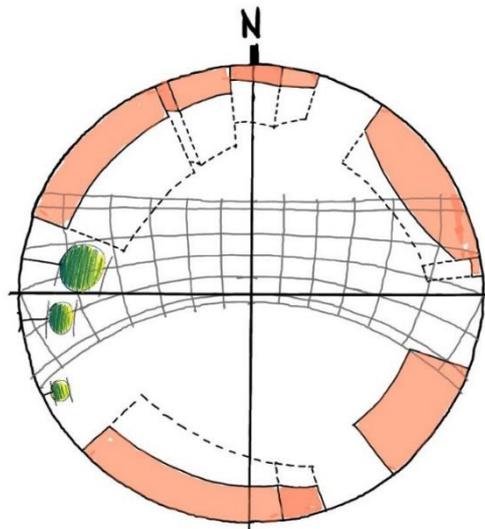


Figura 39: Máscara de obstrução do entorno. Projeto SICOOB – Araxá, MG.
Fonte: Elaborado pela autora.

Em sequência, a partir da sobreposição da carta solar ao desenho de implantação (figura 40), pode-se definir os horários de incidência solar para cada face do terreno (FROTA, 2004). Recomenda-se que este estudo permaneça sincronizado às alterações e atualizações volumétricas resultantes da evolução projetual.

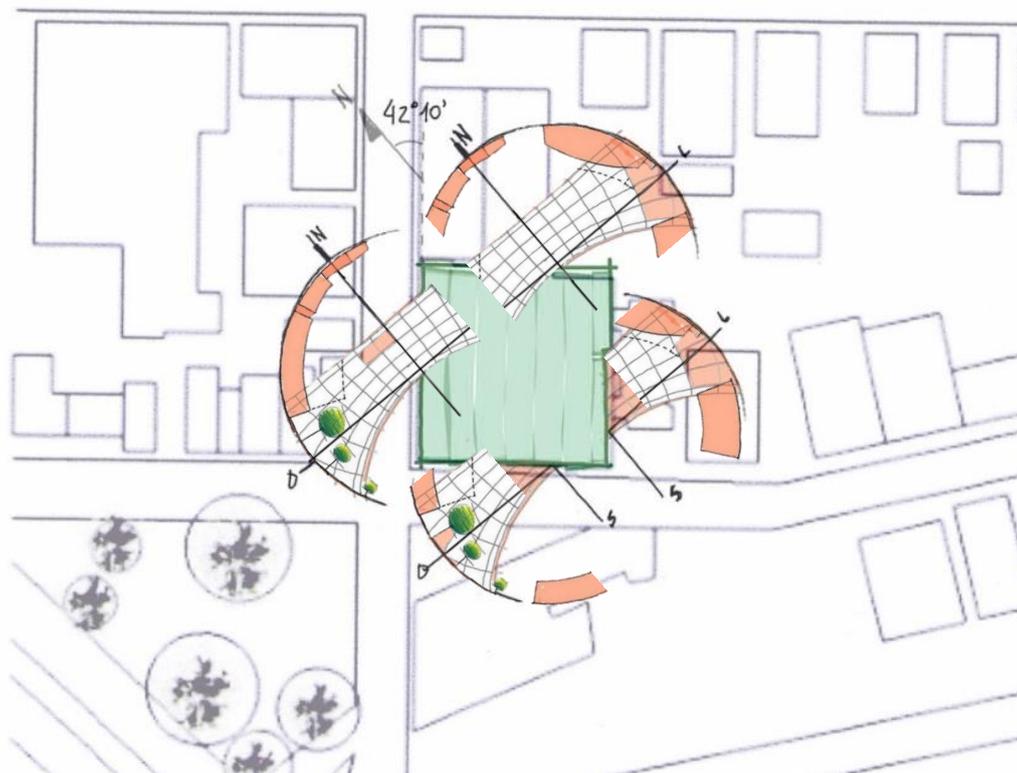


Figura 40: Carta solar aplicada aos planos limítrofes do terreno, equivalente à orientação principal das fachadas do projeto SICOOB. Fonte: elaborado pela autora.

O estudo através de croquis não permite estabelecer, com precisão, os horários limítrofes da incidência solar no plano analisado. Ainda assim, respeitadas as técnicas de análise definidas pela geometria da insolação (FROTA, 2004), o uso de croquis para fins de estudo solar configura-se como uma ferramenta ágil de síntese de informações e auxílio à tomada de decisão (SCHENK, 2010).

Para este estudo, considerou-se a marcação dos vetores para os meses de solstício de verão (22 de dezembro) e inverno (22 de junho), nos horários de 8 às 16h com intervalo de 2/2h. Estes vetores indicam a direção do sol no plano horizontal (azimute) em relação à fachada, a segunda coordenada para identificar a posição do sol é a referência no plano vertical (altura solar).

e; no solstício de verão a partir de meio-dia, em todos os casos, estendendo-se até o entardecer. Ao observar os vetores, percebe-se que durante o verão, a direção do sol em relação a fachada permanece pouco variável. Em contrapartida, às 10h no inverno, o vetor está praticamente paralelo à fachada enquanto às 16h, praticamente ultrapassa o eixo perpendicular à fachada, se posicionando bem à frente da fachada Noroeste para se pôr.

Tabela 18 : Horários de insolação na fachada **Sudeste (SE)**. Fonte: elaborado pela autora.

	Horas (h)													
Datas	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S. Inverno														
Equinócios														
S. Verão														

No caso das superfícies de fachada voltadas para a orientação **sudeste** (tabela 18) observa-se que a incidência solar se concentra durante a manhã, em um período reduzido de horas no solstício de inverno e por toda a manhã no solstício de verão. Cabe observar que, o edifício confrontante de quatro pavimentos na rua Dom Bôsko, representa obstáculo parcial à incidência solar direta na fachada sudeste, devido a sua altura e proximidade com a divisa do terreno destinado ao projeto SICOOB. Os vetores de orientação da direção dos raios solares reforçam o impacto do edifício vizinho como obstáculo à incidência no verão, podendo, no entanto, ser explorado no inverno devido a seu posicionamento.

Tabela 19 : Horários de insolação na fachada **Nordeste (NE)**. Fonte: elaborado pela autora.

	Horas (h)													
Datas	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S. Inverno														
Equinócios														
S. Verão														

A respeito das superfícies de fachada voltadas para a orientação **nordeste** (tabela 19) observa-se que a incidência solar no solstício se estende ao longo da manhã durante todo o ano e, especialmente no solstício de inverno avança até, aproximadamente às 15h. No entanto, semelhante à situação da divisa sudeste, existe um edifício confrontante na divisa da rua Mariano de Ávila, representando obstáculo parcial à incidência solar direta incidente sobre a superfície orientada à nordeste. Os vetores indicam uma direção uniforme no verão e variável no inverno, com eixo aproximadamente perpendicular a fachada às 8h em 22 de junho, inclinando-se até se posicionar paralelo ao plano da fachada próximo às 15h no solstício de inverno.

Tabela 20 : Horários de insolação na fachada **Sudoeste (SO)**. Fonte: elaborado pela autora.

Datas	Horas (h)													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S. Inverno														
Equinócios														
S. Verão														

Por fim, as superfícies de fachada voltadas para a orientação **sudoeste** (tabela 20), no solstício de inverno indica a incidência a partir de 15h, contudo, neste período, a direção dos vetores demonstra o paralelismo com a fachada e, portanto, configura-se como uma incidência pouco significativa em termos de carga térmica. Em contraponto, no solstício de verão, apresentam incidência e direção significativas ao longo de todo o período da tarde.

Pode-se concluir, a princípio, que as superfícies de fachada orientadas à Noroeste e Sudoeste estão mais expostas à incidência solar direta, implicando em maior carga térmica na envoltória e possível ofuscamento em razão da radiação direta incidente no plano de trabalho.

3.5.2.2 Ferramentas de simulação digital

O conteúdo do Ecotect Analysis, software de análise ambiental, originalmente desenvolvido pela empresa *SquareOne*, teve em 2009, a primeira versão lançada pela Autodesk, o Ecotect 2009 e logo em seguida Ecotect Analysis 2010 (AUTODESK, 2011). Mais tarde, com poucas mudanças na plataforma e na estrutura de funcionamento, foi apresentado como o software Vasari e foi posteriormente, incorporado ao Revit. A partir de 2015 (AUTODESK, 2016), não era mais um software independente e algumas de suas funções distribuíram-se pelos softwares FormIt (Modelagem de formas genéricas e estudo solar), Flow design (ventilação), Lighting Analysis (iluminacao natural e artificial) e, no próprio Revit (modelagem de energia e estudo solar) e seus plug-ins (AUTODESK, 2015). No entanto, as funções disponíveis apresentam alteração a cada versão, o que pode ser um complicador para o desenvolvimento de uma análise. Contudo, ciente dos limitadores, especificamente para este trabalho, optou-se por desenvolver as análises com base nas conexões possíveis a partir da plataforma Autodesk.

Os softwares da plataforma Autodesk utilizados para o desenvolvimento destas análises foram instalados com licença gratuita para estudantes, ou seja, todos os recursos apresentados neste trabalho estão disponíveis desde a esfera acadêmica. Além de impulsionar o desenvolvimento de pesquisas, esta abertura representa oportunidade de aproximação das ferramentas de análise às ferramentas de concepção, desde a graduação. O feedback dos usuários é utilizado como alavanca para promover novos desenvolvimentos nos softwares (AUTODESK, 2016).

Nesta etapa, a análise pode ser desenvolvida sobre o modelo, isolado ou inserido no entorno, ainda em fase de estudo de massa, sem definição de aberturas ou especificações de materiais. O modelo geométrico digital foi elaborado a partir das características volumétricas do objeto de estudo apresentadas em fase de concurso. Para a Fase 02 (LoD 100), pôde-se simular os índices de radiação incidentes em determinados planos de fachada no software FormIt 360. O modelo pode, entre outros, ser direcionado para o Insight 360 (plataforma on-line de simulação energética), importado pelo Revit2017 ou ser exportado em formato *.stl para impressão 3D e submetido a simulações físicas.

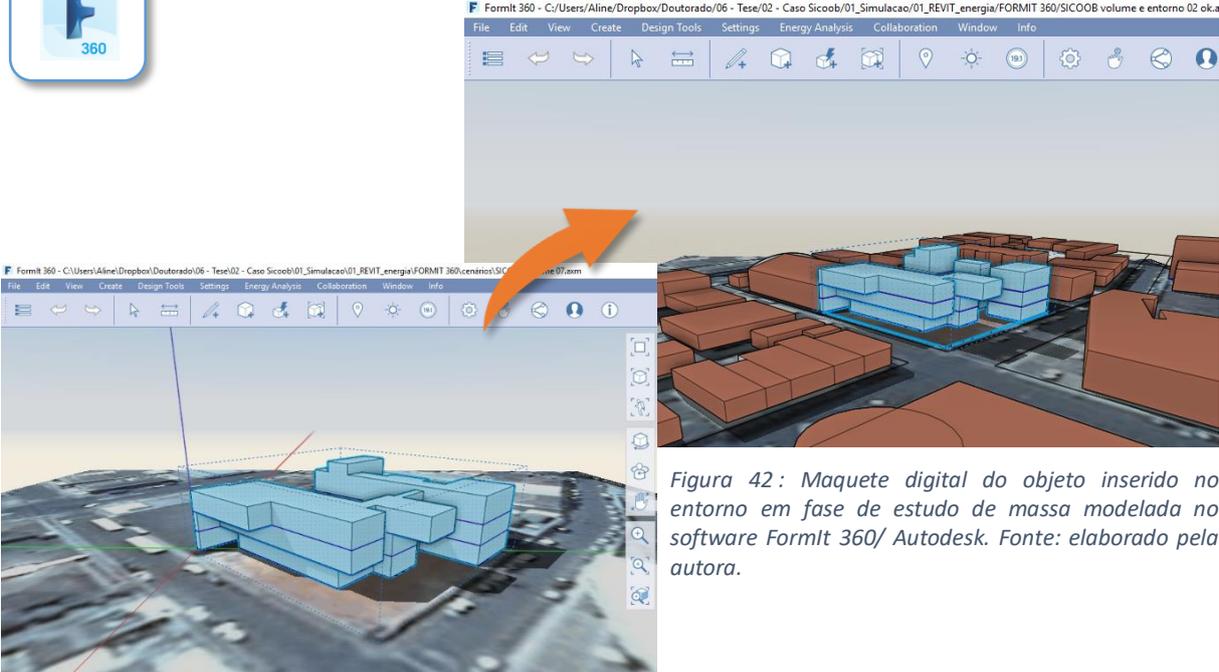


Figura 42 : Maquete digital do objeto inserido no entorno em fase de estudo de massa modelada no software FormIt 360/ Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

Figura 43 : Maquete digital do objeto em fase de estudo de massa modelada no software FormIt 360/ Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

Para simular a radiação incidente em uma determinada superfície no software FormIt 360, o grau de detalhe exigido é mínimo, bastando o modelo geométrico digital de um plano ou um volume com a definição dos níveis de cada pavimento, dispensando vãos, divisões internas, revestimentos ou ornamentos. A maquete pode ter dimensões estimadas ou precisas do objeto, dependendo do objetivo da simulação. Os dados necessários são, minimamente, a orientação do objeto em relação ao Norte Geográfico e a geolocalização do objeto.

Nesta etapa, foram realizadas análises considerando a radiação direta (figuras 44 a 47), permitindo a identificação dos níveis de radiação incidentes nas superfícies de fachada, sincronizado à observação das áreas ensolaradas e sombreadas do objeto ao longo de um determinado período.

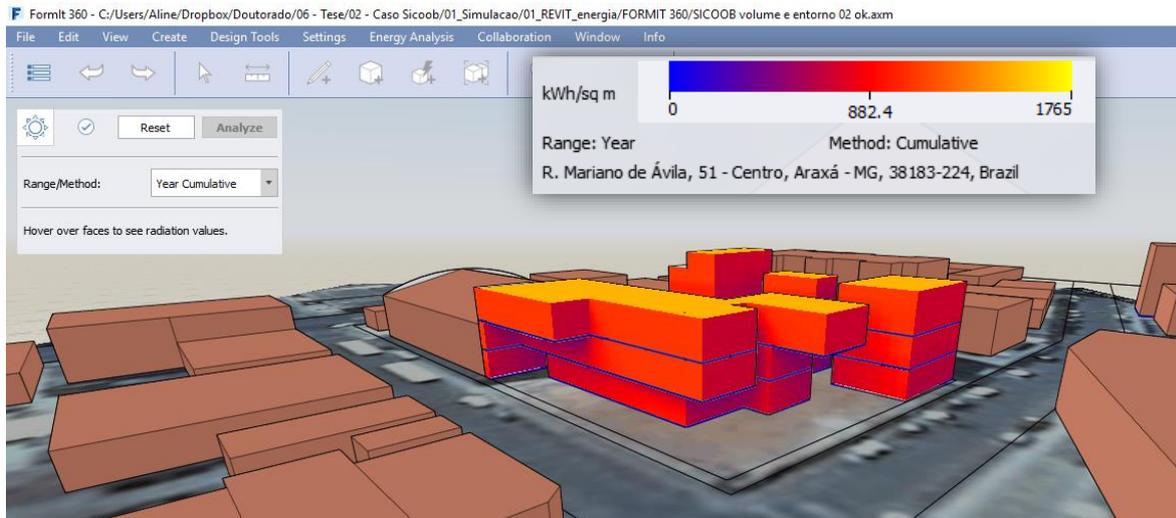


Figura 44 : Radiação anual acumulada (kWh / m²). Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

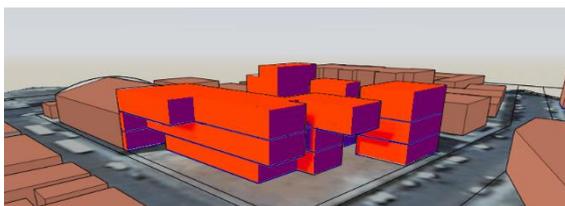


Figura 45 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: junho. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

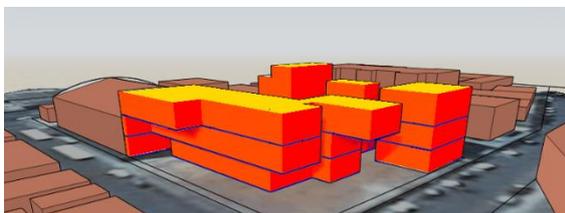


Figura 46 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: março e setembro. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

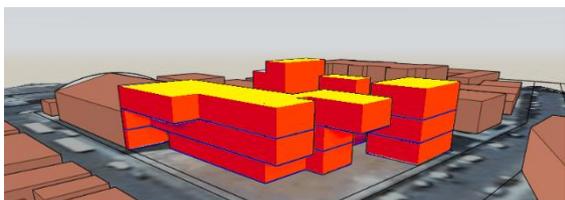
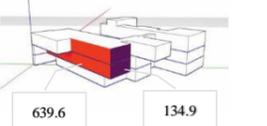
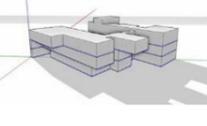
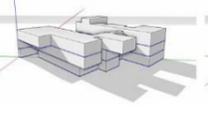
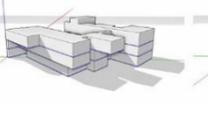
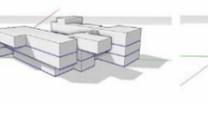
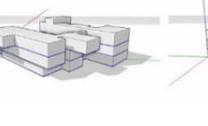
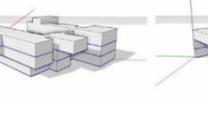
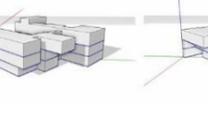
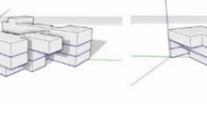
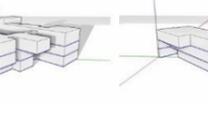
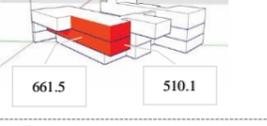
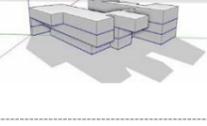
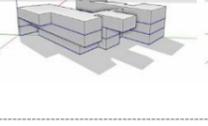
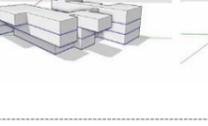
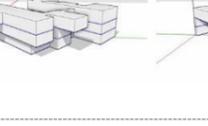
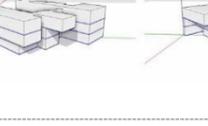
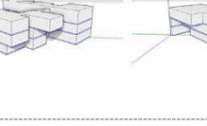
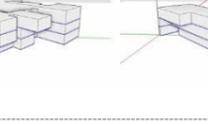
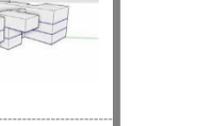
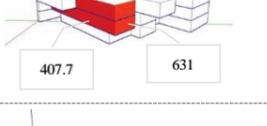
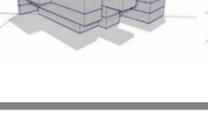
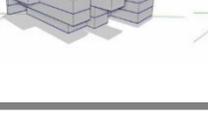
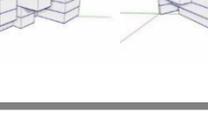
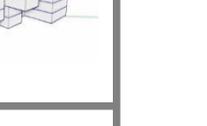
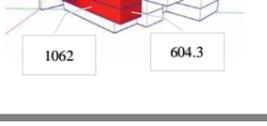


Figura 47 : Radiação máx. (Wh / m²) – mês de referência: dezembro. Software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

A tabela 21, reúne imagens sequenciais de cenários de sol / sombra registrados de 8 às 17h, hora a hora, durante os períodos de solstício de inverno (22 de junho), equinócios (21 de março e 23 de setembro) e solstício de verão (22 de dezembro). Apresenta ainda, imagens da simulação dos níveis de radiação solar incidentes especificamente nas fachadas NW e NE, voltadas para as ruas Mariano de Ávila e Dom Bôsko.

Tabela 21 : Resultados de Insolação extraídos do software FormIt 360 / Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

Radiação		Sombras									
0 509.5 1019  Wh/m²		08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
Junho	 639.6 134.9										
Março / Setembro	 661.5 510.1										
Dezembro	 407.7 631										
Annual	 1062 604.3	Observações: - Durante a modelagem, identificou-se que volumes separados não podem estar conectados por planos, portanto, as passarelas abertas e cobertas foram modeladas como volumes. - O quadro de brises da cobertura foi inicialmente modelado como um plano, mas a proximidade com o teto do último pavimento, implica em erro no momento de exportação para análise energética na plataforma on-line Insight / Autodesk. Portanto, optou-se por retirá-lo desde a análise de insolação na fase preliminar.									

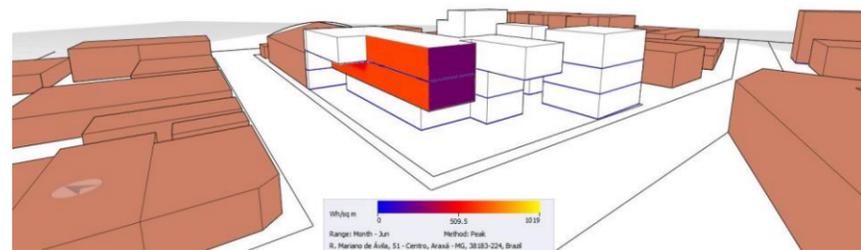


Figura 48 : Radiação (Wh/m²) – Junho. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.

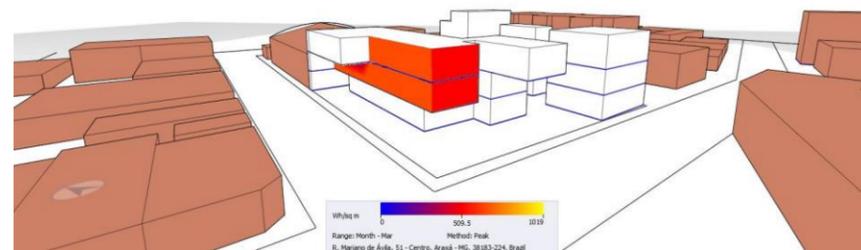


Figura 49 : Radiação (Wh/m²) – Março / Setembro. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.

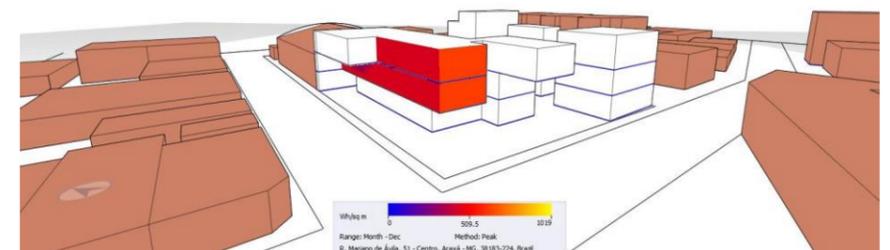


Figura 50 : Radiação (Wh/m²) – Dezembro. Software FormIt 360. Elaborado pela autora.

A partir de um processo semelhante, o objeto modelado no software FormIt 360 permite acionar um conjunto de análises que se aproxima do raciocínio multicritério através da plataforma on-line Insight 360 / Autodesk. A interoperabilidade entre os arquivos se dá através de um ícone na barra de funções do FormIt 360 que exporta automaticamente o modelo para a plataforma Insight (figuras 51 e 52).

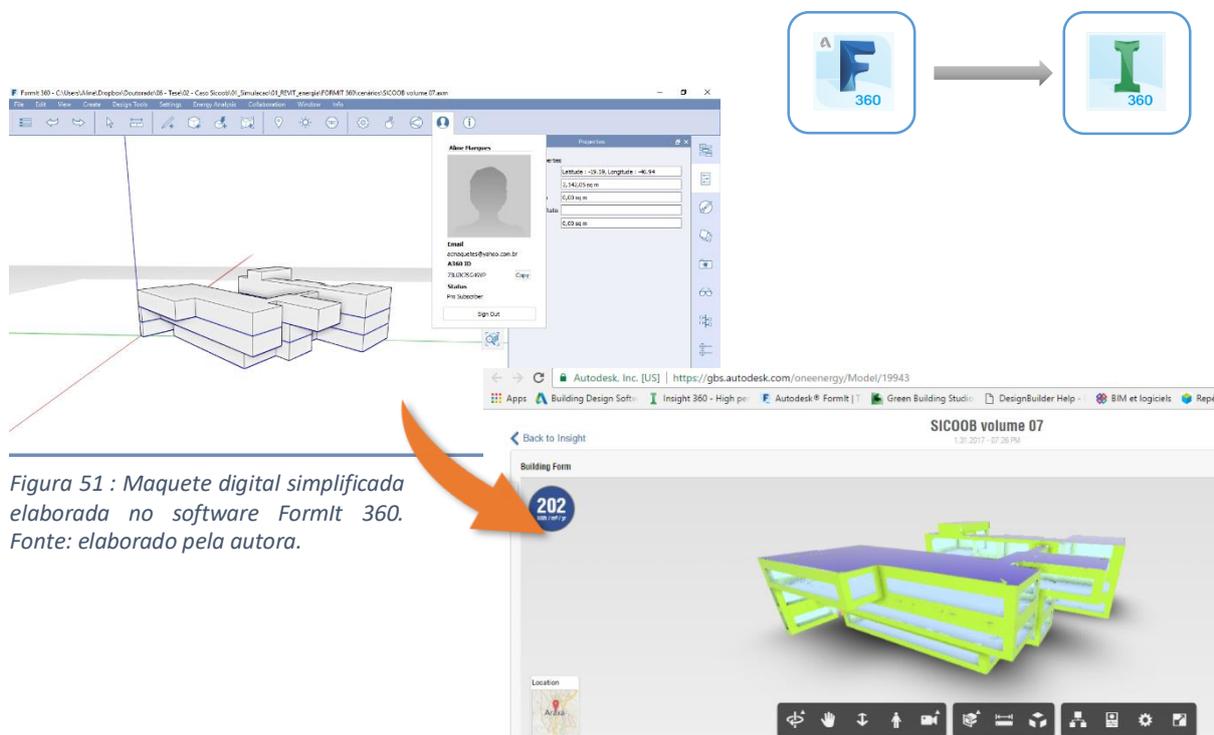


Figura 51 : Maquete digital simplificada elaborada no software FormIt 360. Fonte: elaborado pela autora.

Figura 52 : Modelo analítico gerado automaticamente pelo software on-line Insight 360 acionado pelo FormIt 360. Fonte: elaborado pela autora.

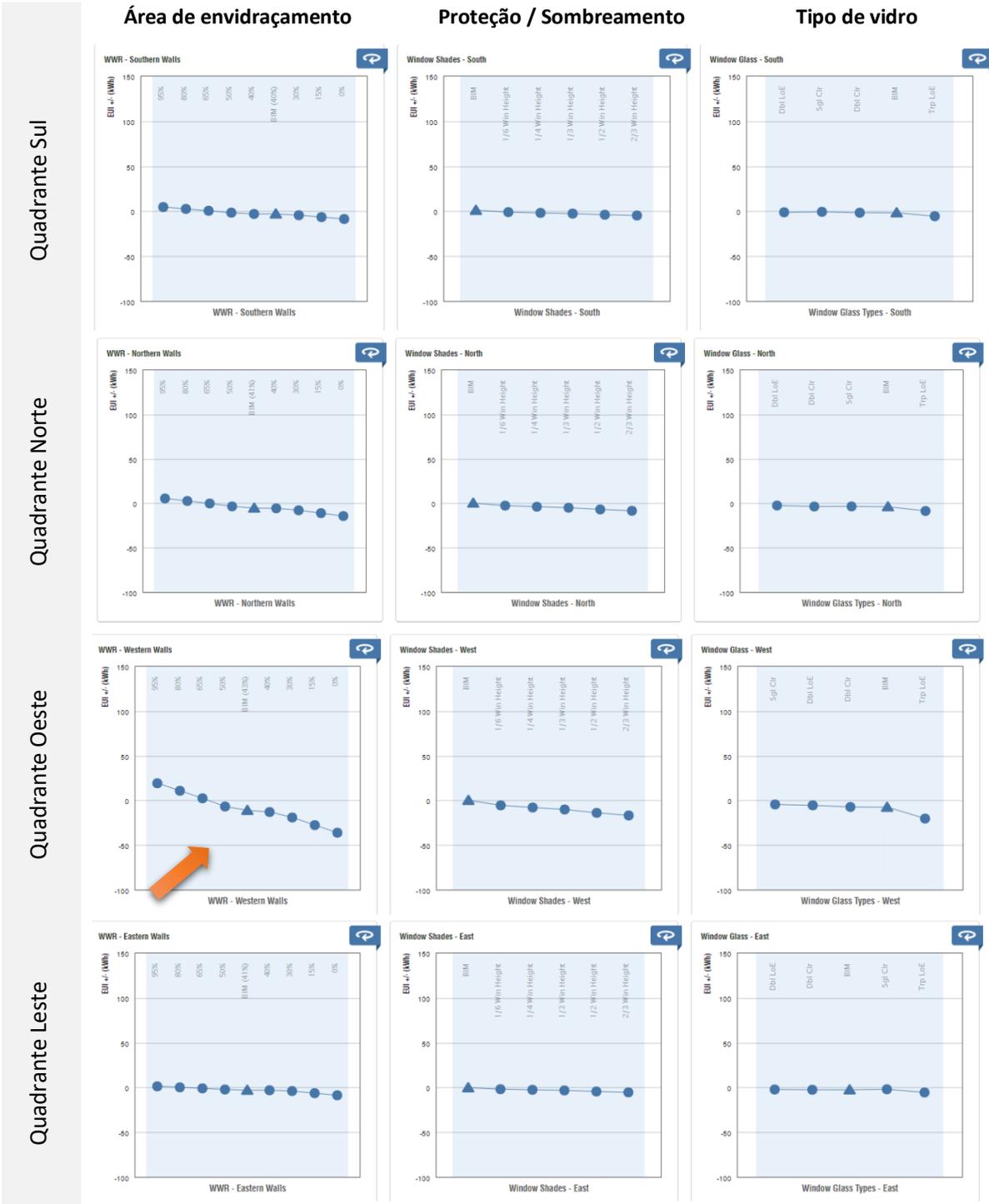
A plataforma do software Insight 360 está disponível on-line desde meados de 2016 e apoia-se em uma plataforma amigável, com vistas a facilitar a visualização dos dados de desempenho da construção através de uma estrutura centralizada. Proporciona alternativas de análise integrada e interativa entre diferentes elementos do modelo (figura 53), permitindo o comparativo do desempenho em relação aos referenciais do Architecture 2030 e ASHRAE 90.1.



Figura 53 : Recorte de alguns quadros de parâmetros analisados simultaneamente pela plataforma Insight 360. Para uma determinada orientação, são analisados: as dimensões da abertura, os tipos de sombreamento da abertura e os tipos de vidro da esquadria. Fonte: Insight 360 / Autodesk.

O resultado da simulação depende do nível de informação contido no modelo de origem. Neste estudo, optou-se por permanecer com o modelo em fase de estudo de massa para avaliar os resultados como oportunidade de elaborar diretrizes para as próximas análises. Neste caso, especificamente, os dados de entrada resumem-se modelagem simplificada da volumetria do objeto sem aberturas definidas, orientação em relação norte geográfico e geolocalização (latitude e longitude). A medida que o modelo fica mais elaborado, com mais detalhes e dados, os resultados da análise tornam-se, naturalmente, mais precisos.

Tabela 22 : Gráficos de consumo energético para diferentes opções de Dimensão de abertura (%), Proporção de área sombreada e tipo de vidro, relacionados para cada quadrante de orientação das fachadas do modelo. Fonte: Insight 360 / Autodesk. Elaborado pela autora.



A princípio, comparando estes três parâmetros para as diferentes orientações de fachada (tabela 22), pôde-se identificar a interferência do dimensionamento da abertura na fachada do quadrante Oeste – fachadas voltadas para a rua Mariano de Ávila - em relação à demanda de consumo energético para fins de controle térmico.

Para simulação com modelos em estudo de massa, a plataforma Insight 360 pré-determina a área de envidraçamento com diferentes dimensões entre 0 e 95%. A figura 54 apresenta o gráfico que relaciona a área de envidraçamento (%) com a demanda de consumo energético resultante (kWh) para as superfícies de fachada do quadrante oeste. Observa-se que quanto maior a abertura, maior a demanda energética para controle térmico do edifício, em razão das cargas resultantes da incidência solar para esta determinada localidade e orientação de superfície de fachada.

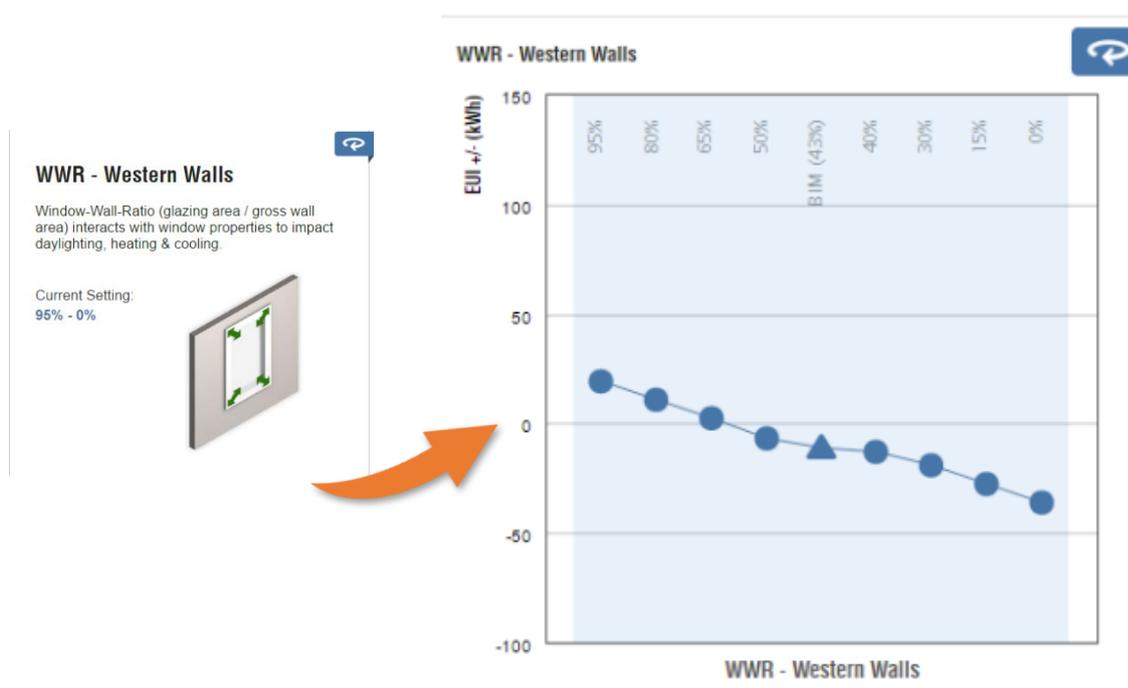


Figura 54 : relação da área de envidraçamento com a demanda de consumo energético – Insight 360 Autodesk.
Fonte: Elaborado pela autora.

A partir das opções disponibilizadas pode-se simular o cenário mais aproximado das características e/ou intenções projetuais e a partir deste, elaborar comparativos de desempenho com outros cenários, relacionando simultaneamente um ou mais parâmetros. As figuras 55 a 57, demonstram as faixas de demanda energética média anual (kWh/m²/ano) para áreas de envidraçamento, respectivamente, de 95%, 80% e 65%. Para fins de avaliação do custo médio anual referente ao consumo energético, deve-se inserir valores correspondentes às taxas de energia elétrica e gás estabelecidas pelas empresas de fornecimento da localidade do objeto de estudo.

Editing: WWR - Western Walls (

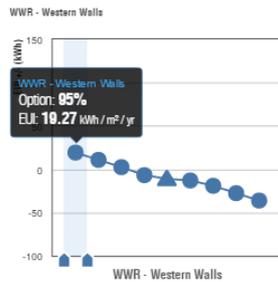
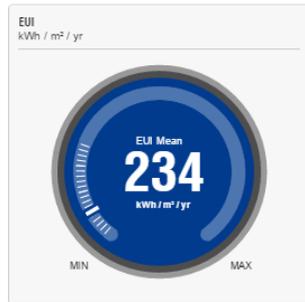


Figura 55: Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 95% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

Editing: WWR - Western Walls (

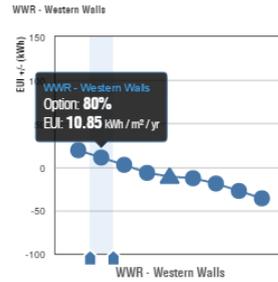


Figura 56: Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 80% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

Editing: WWR - Western Walls (

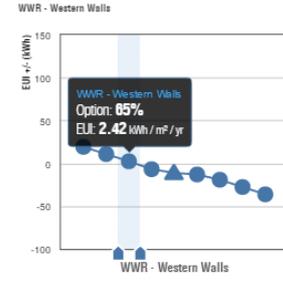


Figura 57: Comparativo entre demanda de consumo e área de abertura em 65% para fachadas do quadrante oeste – Insight360 Autodesk. Fonte: elaborado pela autora.

A simulação do modelo em estudo de massa impõe algumas limitações: a generalização da mesma proporção de abertura para todas as superfícies de fachada. Entende-se que, como o aperfeiçoamento do modelo geométrico digital a cada fase projetual, análises mais precisas devem ser consideradas, respeitando a especificidade de cada plano da envoltória.

3.6. Etapa 03 – LoD 200

Em sequência ao desenvolvimento do projeto, a terceira etapa concentra-se no objeto em fase de estudo preliminar disponível das pranchas do concurso. Tem como objetivo dar continuidade às análises desenvolvidas da etapa anterior (*LoD 100*), considerando agora, a tipologia da edificação e um maior nível de detalhes do objeto. Para tal, adota por base as premissas apresentadas na tabela 13, coluna referente ao item *LoD 200*.

A partir do modelo geométrico digital desenvolvido em estudo de massa no software Revit 2017 é possível acionar, entre outras, a função de análise energética. Com o volume em estudo de massa e sem aberturas definidas, é necessário selecionar uma tipologia de construção pré-estabelecida e disponibilizada pelo software. Os parâmetros pré-definidos para uma determinada tipologia são editáveis de acordo com o nível de dados e detalhes disponíveis.

Presume-se que, a característica essencial da maioria das tarefas desempenhadas nas áreas de atendimento do banco, equivale à tarefa de escritório. Esta consideração permite estabelecer as características do cenário de estudo.

A configuração adotada para este estudo utiliza a tipologia “áreas de atividades bancárias - escritório” como base da simulação (tabela 23).

Tabela 23 : Configuração de localização para o modelo de energia. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.

Parâmetro	Valor
Essencial	
Localização	Rua Dom Bosco, 247, Araxá-MG. 38183-228, Brasil
Modelo Analítico de Energia	
Modo	Utilizar massas conceituais
Nível de referência	Nível 01
Fase do projeto	Construção nova
Resolução do espaço analítico	0,4572
Resolução da superfície analítica	0,3048
Profundidade da zona do perímetro	0,6000
Divisão de zonas do perímetro	Não definido

Nesta etapa, mesmo com o modelo geométrico digital limitado à massa volumétrica ainda sem aberturas definidas, é possível estabelecer um perfil aproximado do cenário de projeto. A partir de parâmetros pré-estabelecidos e disponibilizados pela estrutura do software (tabelas 24, 25 e 26) é possível adotar configurações mais específicas para gerar o modelo de energia a ser simulado. Para a composição conceitual do edifício (tabela 25) adotou-se as orientações disponibilizadas pela NBR 15220 (ABNT, 2005) para a zona 3, na qual se enquadra a cidade de Araxá – MG.

Tabela 24 : Configurações avançadas de energia. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.

Parâmetro	Valor
Modelo detalhado	
Percentual de destino da vidraça	95%
Altura de destino do parapeito	0,8000
A vidraça está sombreada	Não
Profundidade da sombra	0,6000
Percentual de destino da clarabóia	0%
Largura e profundidade da clarabóia	0,9144
Dados de construção	
Tipo de construção	Escritório
Tabela de operações de construção	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado central

Tabela 25 : Tipos conceituais de composição do edifício. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.

Modelo de massa	Construções
Parede externa da massa	Construção leve – Sem isolamento
Parede interna da massa	Construção pesada – Sem isolamento
Parede externa da massa – Subterrânea	Construção pesada – Sem isolamento
Telhado da massa	Sem isolamento – Telhado escuro
Piso de massa	Construção leve – Sem isolamento
Laje de massa	Construção pesada – Sem isolamento
Vidraça da massa	Painel único claro – Sem revestimento
Clarabóia da massa	Painel único – Escurecido
Sombreado da massa	Sombra básica
Abertura da massa	Ar

Tabela 26: Tipo de espaço – áreas de atividades bancárias – escritório. Software Revit 2017. Elaborado pela autora.

Área de atividades bancárias – Escritório	
Parâmetro	Valor
Análise da energia	
Área por pessoa	20,000 m ²
Ganho de calor sensível por pessoa	73,27 W
Ganho de calor latente por pessoa	58,61 W
Densidade de carga de iluminação	16,15 W/m ²
Densidade de carga de potência	16,15 W/m ²
Contribuição de iluminação do plenum	20,0000%
Tabela de ocupação	Common Office Occupancy - 8 AM to 5 PM
Tabela de iluminação	Office Lighting – 6 AM to 11 PM
Tabela de potência	Office Lighting – 6 AM to 11 PM

Além destas informações, é necessário definir a orientação geográfica do objeto em relação ao Norte geográfico e informar a geolocalização. O software Green Building Studio / Autodesk não tem abertura para a inserção de um banco de dados climático externo. A partir da latitude e longitude, o software disponibiliza as estações mais próximas para escolha do usuário. A estação adotada é a GBS ID 840093: GBS_06M12_13_232128 – referência: Autodesk (5.2km do ponto do projeto). Lat.: -19,57°; Long.: -46,90°; Alt.: 999m.

A partir do modelo de energia gerado (figura 58) de acordo com os parâmetros estabelecidos, fica à disposição do analista, um relatório de desempenho energético estimado do cenário simulado. A partir deste, inúmeras possibilidades podem ser investigadas em comprometimento com as premissas e critérios estabelecidos pela equipe de projeto desde as etapas preliminares da concepção.

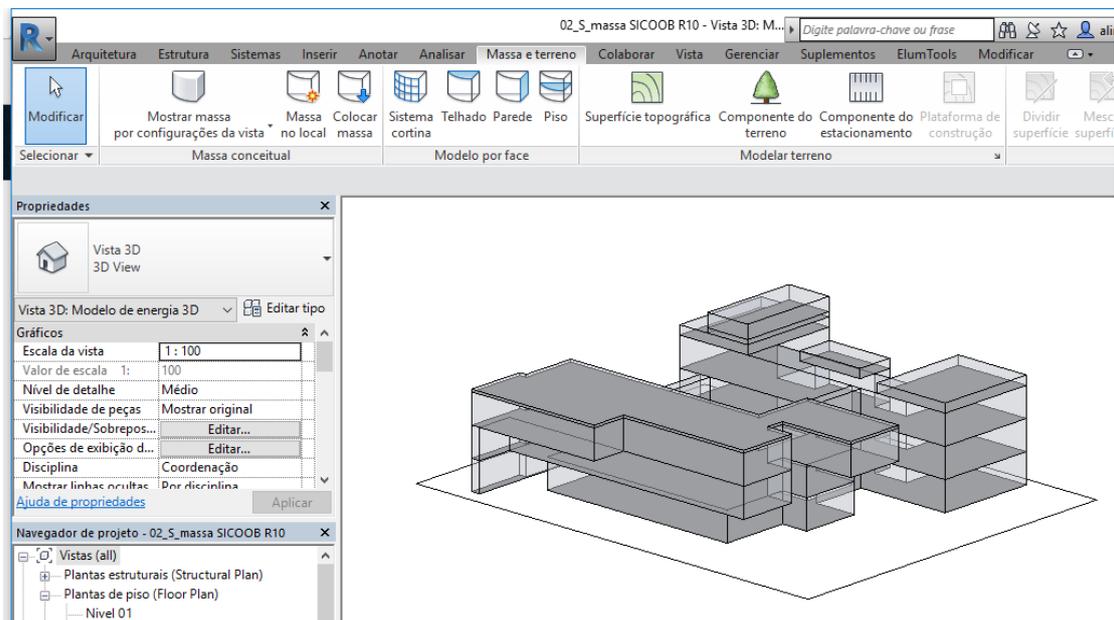


Figura 58: Maquete digital em fase de estudo de massa com definição dos níveis de piso modelada no software Revit 2017/ Autodesk. Elaborado pela autora.

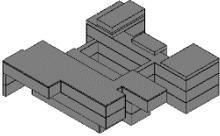
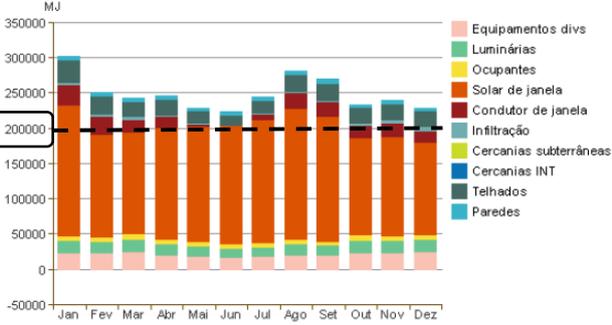
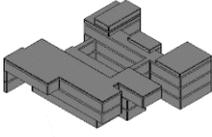
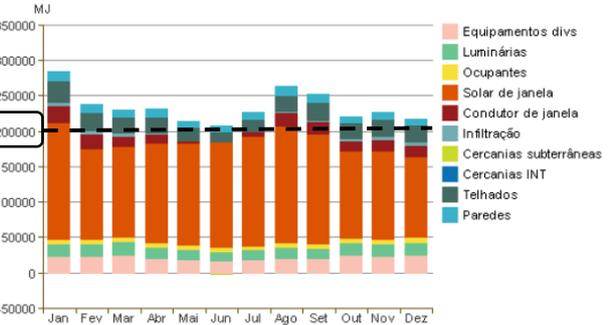
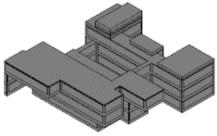
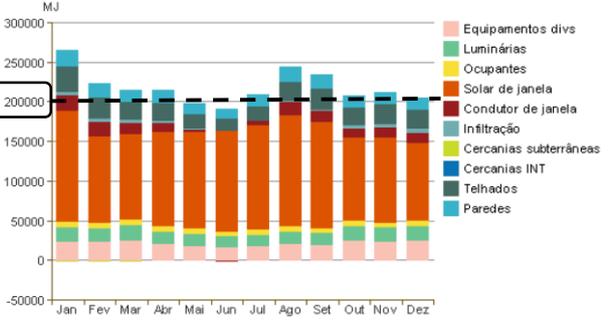
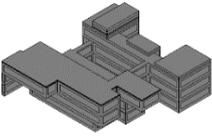
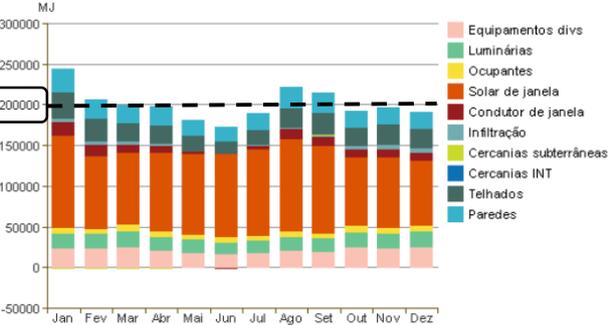
Sendo o modelo geométrico digital desenvolvido em modo de massa, com volumetria aproximada e sem aberturas personalizadas, o modelo gerado para análise adota a mesma configuração para todas as faces da envoltória e para todos os ambientes. O descompasso entre o nível de detalhes e o nível de dados disponíveis no modelo para análise pode gerar dados equivocados ou demasiadamente generalizados. Ainda assim, a partir da simulação de múltiplos cenários, é possível estabelecer perfis comparativos.

O cenário tipo (C_01) foi modelado de acordo com as informações previstas no projeto arquitetônico em fase de estudo preliminar, como apresentado nas pranchas do concurso. Assim definido, pôde-se estabelecer diferentes opções de áreas de envidraçamento para fins de estudo comparativo.

Com o objetivo de estimar o grau de impacto da dimensão de aberturas na envoltória em relação ao desempenho energético, optou-se por alterar o parâmetro de percentual de envidraçamento da fachada, inicialmente configurado em 95% (cenário 01) para 80% (cenário 02), 65% (cenário 03) e por fim, 50% (cenário 04). A tabela 27 apresenta lado a lado, para fins comparativos, o resultado de alguns parâmetros do relatório para os quatro diferentes cenários.

Observa-se que o item mais representativo é a carga “solar da janela” e para facilitar o comparativo entre os gráficos de resultado para os diferentes cenários, optou-se por destacar o índice 200.000 MJ (megajoule) como referência visual por representar as médias máximas de carga mensal de refrigeração para o cenário tipo.

Tabela 27 : Estimativa mensal de refrigeração para cada cenário simulado no software Green Building Studio / Autodesk. Elaborado pela autora.

	Dados gerais do Cenário	Carga mensal de refrigeração
95% de envidraçamento (C_01)	 <p>Localização: Rua Dom Bosco, 247, Araxá - MG, 38183-228, Brazil</p> <p>Estação de meteorologia: 840093</p> <p>Temperatura externa: Máx: 33°C/Mínimo: 7°C</p> <p>Área do piso: 2.687 m²</p> <p>Área da parede externa: 2.444 m²</p> <p>Potência média de iluminação: 9.69 W/m²</p> <p>Pessoas: 107 pessoas</p> <p>Coefficiente de janela externa: 0.95</p> <p>Custo de eletricidade: \$ 0,12/kWh</p> <p>Custo de combustível: \$ 1,25/Térmica</p>	 <p>MJ</p> <p>Equipamentos divs Luminárias Ocupantes Solar de janela Condutor de janela Infiltração Cercanias subterrâneas Cercanias INT Telhados Paredes</p>
80% de envidraçamento (C_02)	 <p>Localização: Rua Dom Bosco, 247, Araxá - MG, 38183-228, Brazil</p> <p>Estação de meteorologia: 840093</p> <p>Temperatura externa: Máx: 33°C/Mínimo: 7°C</p> <p>Área do piso: 2.687 m²</p> <p>Área da parede externa: 2.444 m²</p> <p>Potência média de iluminação: 9.69 W/m²</p> <p>Pessoas: 107 pessoas</p> <p>Coefficiente de janela externa: 0,80</p> <p>Custo de eletricidade: \$ 0,12/kWh</p> <p>Custo de combustível: \$ 1,25/Térmica</p>	 <p>MJ</p> <p>Equipamentos divs Luminárias Ocupantes Solar de janela Condutor de janela Infiltração Cercanias subterrâneas Cercanias INT Telhados Paredes</p>
65% de envidraçamento (C_03)	 <p>Localização: Rua Dom Bosco, 247, Araxá - MG, 38183-228, Brazil</p> <p>Estação de meteorologia: 840093</p> <p>Temperatura externa: Máx: 33°C/Mínimo: 7°C</p> <p>Área do piso: 2.687 m²</p> <p>Área da parede externa: 2.444 m²</p> <p>Potência média de iluminação: 9.69 W/m²</p> <p>Pessoas: 107 pessoas</p> <p>Coefficiente de janela externa: 0,65</p> <p>Custo de eletricidade: \$ 0,12/kWh</p> <p>Custo de combustível: \$ 1,25/Térmica</p>	 <p>MJ</p> <p>Equipamentos divs Luminárias Ocupantes Solar de janela Condutor de janela Infiltração Cercanias subterrâneas Cercanias INT Telhados Paredes</p>
50% de envidraçamento (C_04)	 <p>Localização: Rua Dom Bosco, 247, Araxá - MG, 38183-228, Brazil</p> <p>Estação de meteorologia: 840093</p> <p>Temperatura externa: Máx: 33°C/Mínimo: 7°C</p> <p>Área do piso: 2.687 m²</p> <p>Área da parede externa: 2.444 m²</p> <p>Potência média de iluminação: 9.69 W/m²</p> <p>Pessoas: 107 pessoas</p> <p>Coefficiente de janela externa: 0,50</p> <p>Custo de eletricidade: \$ 0,12/kWh</p> <p>Custo de combustível: \$ 1,25/Térmica</p>	 <p>MJ</p> <p>Equipamentos divs Luminárias Ocupantes Solar de janela Condutor de janela Infiltração Cercanias subterrâneas Cercanias INT Telhados Paredes</p>

3.7. Etapa 04 – LoD 300

Por fim, para esta etapa, presume-se que o modelo geométrico digital possa ser elaborado considerando definições mais precisas de dimensionamento e composição das aberturas. No entanto, mesmo para uma análise de maior complexidade, pode-se adotar o estudo de massa como modelo de partida. É o caso de um dos métodos disponibilizados pelo software francês Archiwizard para minimizar possíveis incompatibilidade na leitura do modelo durante os métodos de interoperabilidade disponíveis, seja por Open (ifc) ou ClosedBIM (plug-in). No caso deste estudo, optou-se por importar e exportar, sempre que possível, através do arquivo em formato *.ifc.

Semelhante às etapas anteriores, adota-se por base as premissas apresentadas na tabela 13, coluna referente ao item *LoD 300*.

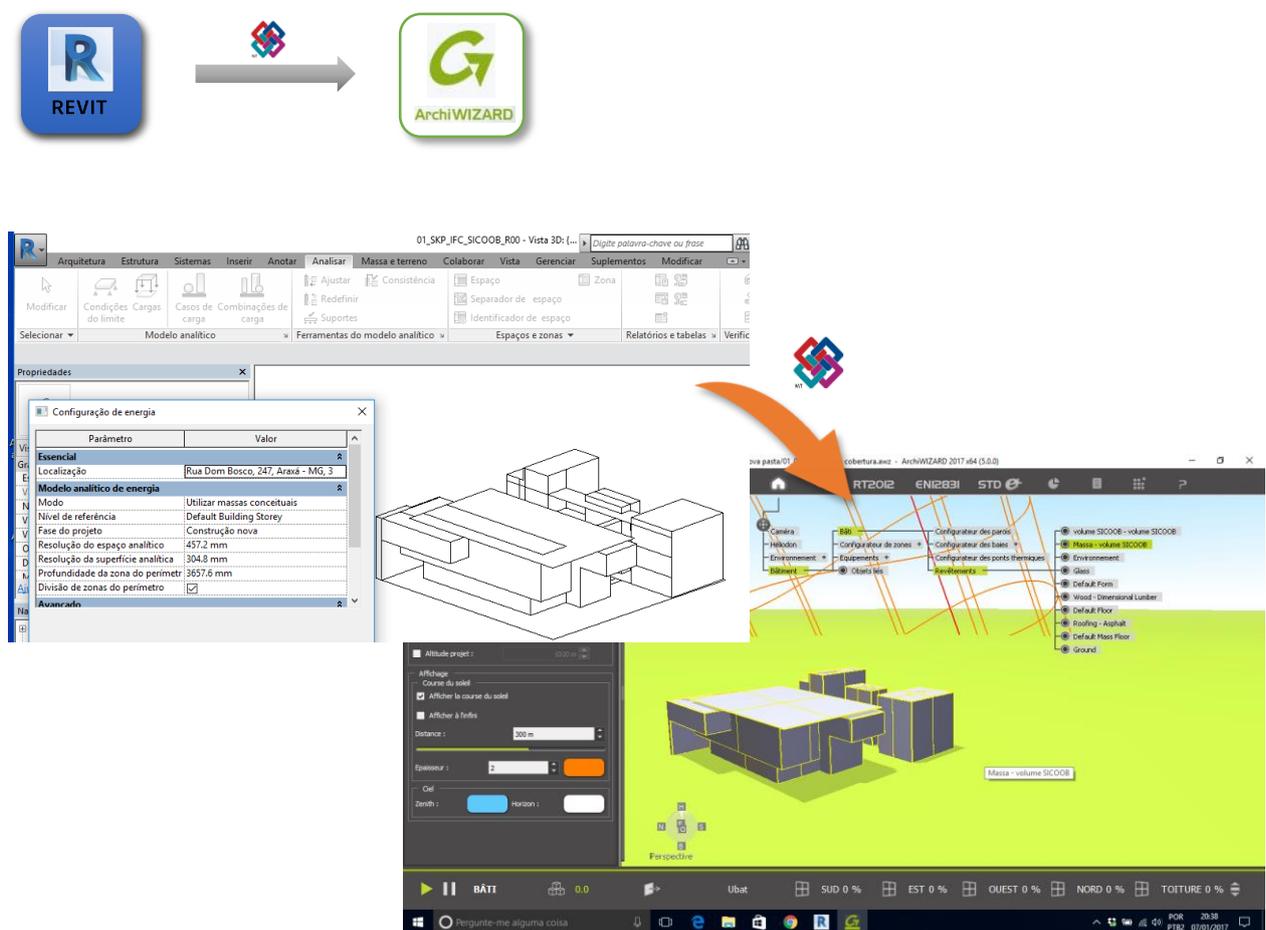


Figura 59: Arquivo modelado no software SKETCHUP 2016 e exportado em formato *.ifc através da plataforma Trimble Connect. Na sequência, modelo *.ifc lido pelo software REVIT 2017. Fonte: Elaborado pela autora.

A utilização do software Archiwizard no Brasil tem restrições específicas. Primeiramente, por desconsiderar os cálculos de ventilação natural como citado anteriormente e, ainda, por utilizar padrões construtivos e referenciais baseados em normas francesas, como a *Réglementation Thermique* - RT 2012 (MOLLE; PATRY, 2011). Contudo, estas questões não interferem na observação dos dados de insolação, desde que não vinculados à tais normativas.

A primeira configuração necessária, refere-se ao banco de dados climáticos que pode ser adicionado em formato *.epw. Adotou-se o arquivo climático da estação em Araxá, Lat.: -19,6°; Long.: -46,93°, Estação A505 - OMM 86796 (INMET). Assim como os anteriores, a orientação do objeto em relação ao Norte Geográfico e a geolocalização precisa, são dados primordiais.

Em sequência, definem-se as tipologias, dimensionamento e características das aberturas e demais componentes do objeto, assim como a inserção de elementos de sombreamento e de composição do entorno. É imprescindível definir as zonas a serem simuladas, com suas respectivas tarefas e cronograma de atividades. Os dados são editáveis e podem ser bem ajustados para uma adequada aproximação às condições inerentes ao objeto de estudo deste trabalho. A figura 60 apresenta a zona selecionada para a análise.

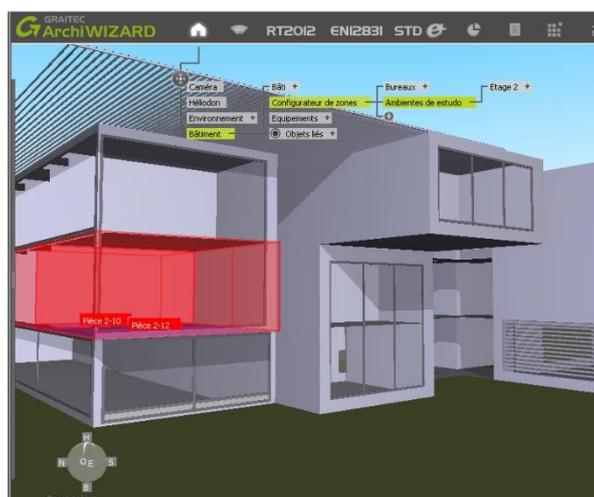


Figura 60 : Zona de estudo da maquete digital - SICCOB - selecionada para simulação no software ArchiWIZARD / Graitec. Elaborado pela autora.

As próximas imagens registram as configurações estabelecidas para gerar a simulação. Na caixa de configuração da temperatura (figura 61), para este estudo, é essencial desmarcar o item “*chauffage*”, ou seja, aquecimento, exatamente para evitar o cálculo do consumo energético considerando gastos com sistemas de aquecimento do ambiente. Determinou-se 25° C como temperatura de referência para o estado de conforto em condições naturais, sem condicionamento térmico.

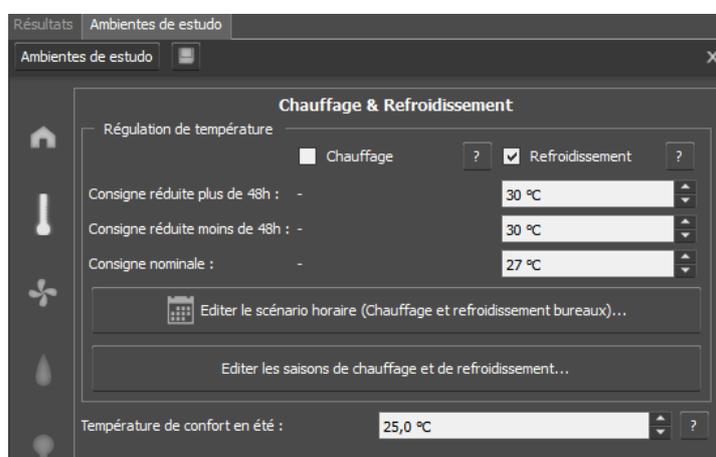


Figura 61 : configurações de temperatura para o cenário de estudo no software ArchiWIZARD. Elaborado pela autora.

Os horários de uso do ambiente foram determinados de acordo com o tipo de tarefa e em equivalência às configurações “Área de atividades bancárias – Escritório” pré-estabelecidas nos modelos simulados nas etapas anteriores. O índice de iluminação estabelecido para o plano de tarefa é de 500 lux de acordo com recomendações da NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho, parte 1 – Interior (ABNT, 2013). O tipo de lâmpada adotada – fluorescente – equivale às especificações disponibilizadas no conjunto de dados do modelo geométrico digital do projeto SICCOB em fase de desenho executivo. O plano de tarefa foi fixado em 0.75cm acima do nível de piso do ambiente e o tipo de céu, considerado parcialmente nublado.

O primeiro comparativo entre cenários concentrou-se em avaliar o mesmo objeto com e sem as árvores previstas à frente da fachada noroeste do projeto vencedor do concurso. A análise limita-se à interpretação dos dados resultantes da incidência solar sobre o objeto.

A configuração da vegetação no modelo geométrico digital procurou respeitar o posicionamento e as dimensões aproximadas da árvore proposta desde a fase preliminar do projeto.



Figura 62 : Maquete digital com árvores no software Archiwizard. Elaborado pela autora.

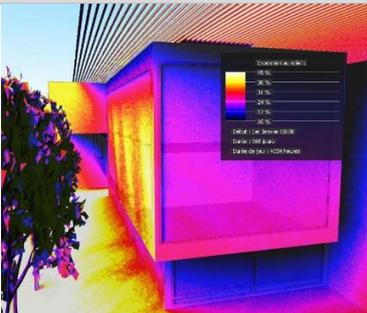
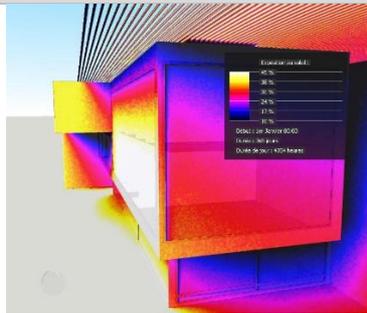
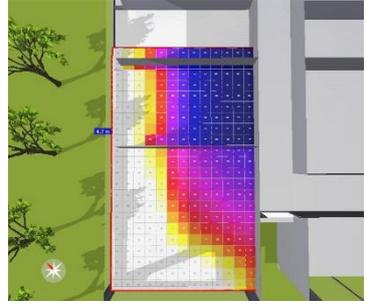
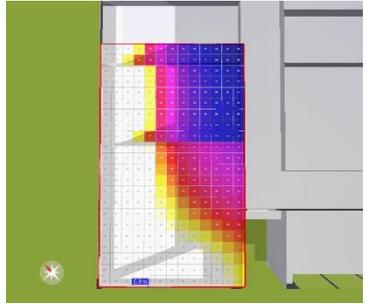


Figura 63 : Maquete digital sem árvores no software Archiwizard. Elaborado pela autora.

Os primeiros resultados estão dispostos na tabela 28. Observa-se que a arborização disposta no alinhamento do terreno, na testada da rua Mariano de Ávila, certamente, interfere na exposição da fachada à incidência solar. E, da mesma forma, interfere nos níveis de iluminância nas superfícies do plano de trabalho, no entanto, não são suficiente para proteger a incidência direta da radiação solar em determinados períodos do ano, implicando em ofuscamento e desconforto no desempenho da tarefa.

Contudo, como justificado anteriormente, optou-se por desenvolver as demais simulações desconsiderando a presença da vegetação diante do edifício. Entende-se que o desempenho da vegetação como recurso de sombreamento da fachada depende de inúmeras variáveis – tempo de crescimento, diâmetro e densidade da copa, tipo de folhagem e etc. - geralmente, pouco controladas.

Tabela 28 : Simulação dos índices de exposição à radiação (%) e iluminância (lux) nas zonas estabelecidas para estudo. Software ArchiWIZARD. Elaborado pela autora.

	Com árvores	Sem árvores
Exposição à radiação (%) 		
Iluminância (lux)		
	21 de março / setembro – 15h	21 de março / setembro – 15h

Com o intuito de proporcionar uma visualização mais completa das simulações, optou-se por dispor os resultados organizados hora a hora para os meses de equinócio (março e setembro), solstício de verão (dezembro) e solstício de inverno (junho) (tabela 29). Observa-se que a radiação solar direta, quando incidente na superfície da cortina de vidro das fachadas noroeste e sudoeste, alcança certa parte da área de trabalho no interior do ambiente. Este fenômeno ocorre principalmente no solstício de inverno quando a trajetória do sol é mais baixa para a latitude de Araxá. Os demais períodos contam com incidência indireta com mais de 3000 lux nas áreas mais claras e aproximados 300 lux nas áreas azuis mais escuras. O que reforça a necessidade de algum recurso de sombreamento com vistas a controlar a penetração de carga térmica e luminosa em excesso no interior da edificação.

Tabela 29 : Resultados de iluminância no plano de trabalho na zona de estudo pré-determinada. Elaborado pela autora.

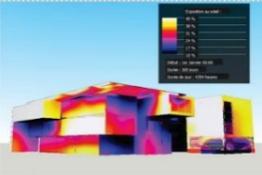
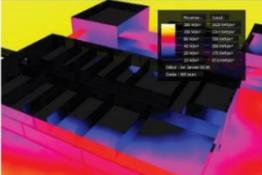
		Iluminância (LUX) no Plano de Trabalho, em h=0,75m									
		08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
	Junho										
Zonas de Estudo											
	Marco / Setembro										
Radiação											
	Dezembro										
Plano de Trabalho h. : 0.75m											
Observações: As simulações foram extraídas do software francês ArchiWIZARD, atualmente gerenciado pela empresa Graitec.											



Figura 64 : Seleção da Zona de análise.

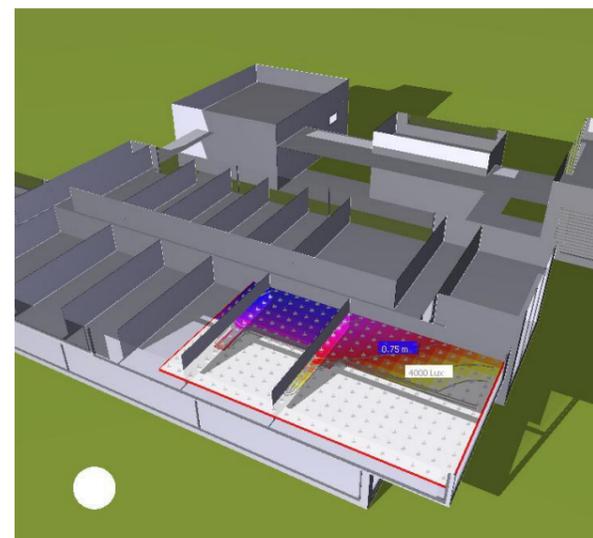


Figura 65 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1º pavimento. 22 de junho às 14h.

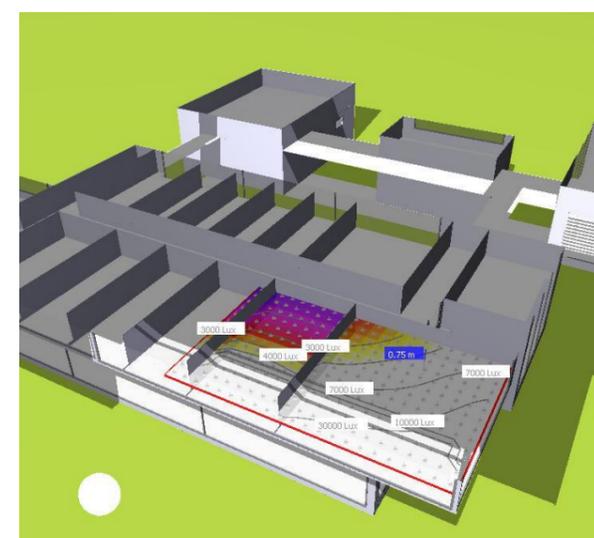


Figura 66 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1º pavimento. 21 de março / setembro às 14h.

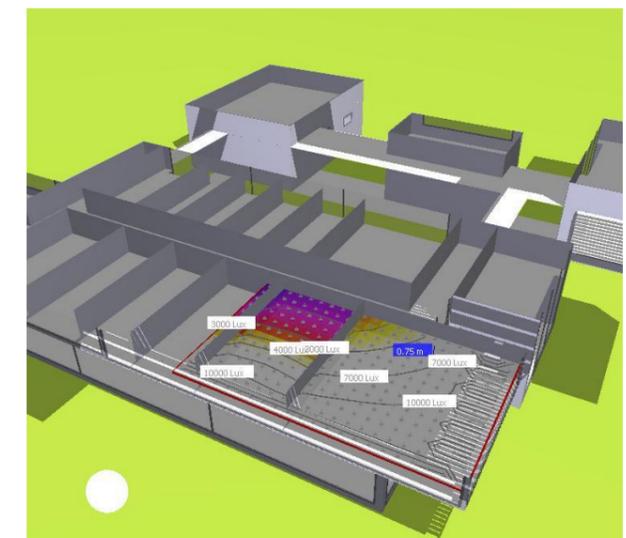


Figura 67 : Análise de iluminância – lux (h.: 0.75m). Planta baixa perspectivada do 1º pavimento. 22 de dezembro às 14h.

Destaca-se que as condicionantes do ambiente interno estão diretamente relacionadas às condicionantes do ambiente externo através das características e composições das camadas da envoltória. Ao considerar uma escala mais aproximada à edificação, pode-se avaliar algumas das relações potencialmente estabelecidas entre o ambiente interno e externo condicionadas ao tipo de tarefa e às características da envoltória desenvolvida em fase conceitual (figura 68).

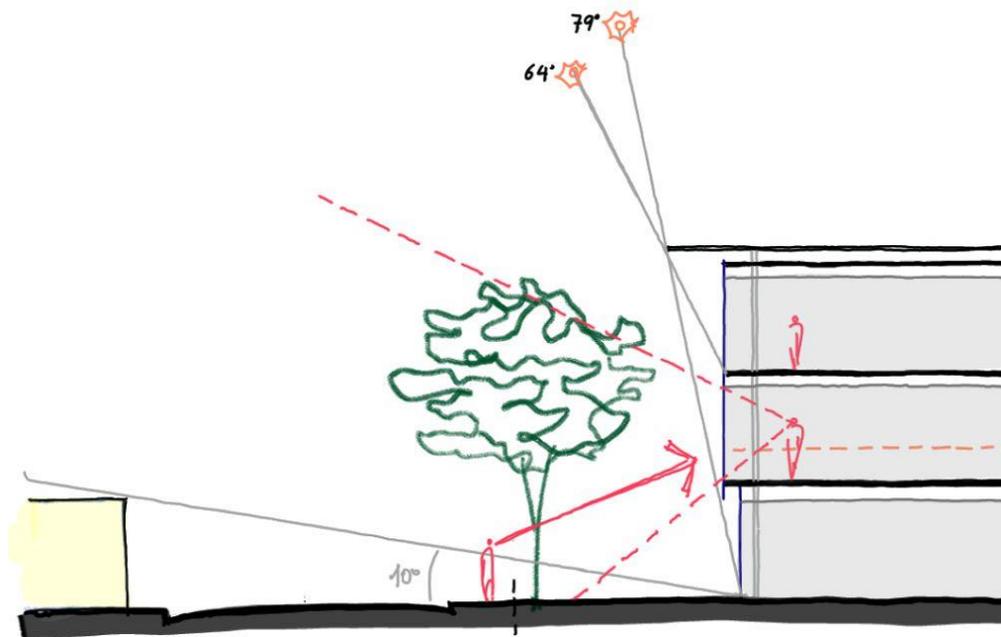


Figura 68 : Corte transversal esquemático. Sem escala. Fonte: elaborado pela autora.

As análises anteriores demonstraram importância substancial quanto a dimensão do vão e a exposição à carga térmica e luminosa resultantes da incidência solar principalmente na fachada noroeste. Por outro lado, entende-se o potencial estético da cortina de vidro explorado na principal imagem de divulgação do projeto.



Figura 69 : Perspectiva de divulgação do projeto vencedor do concurso para a sede SICOOB/ Crediara de Araxá-MG, Brasil. Disponível na prancha 06/06 do concurso.

Observa-se, ainda, a permeabilidade visual na área dos caixas eletrônicos no pavimento térreo e, acima, no primeiro e segundo pavimentos, uma solução de barreira visual interna ao envidraçamento. No projeto executivo a especificação define Cortina de vidro laminado 12mm em quadros de alumínio e etc., contudo, não cita proposta de veneziana ou cortinado interno.

Em razão do provável aquecimento e brilho nos planos de trabalho das salas de escritório do primeiro pavimento, entende-se que seria adequado prever e investigar potenciais soluções antes da etapa construtiva. De certo, existem inúmeras alternativas para a composição desta camada da envoltória, dentre elas, podemos citar: vidros com isolamento térmico, vidros reflexivos, vidros com veneziana embutida, e outras, como a adição de camada externa à cortina de vidro, com brises ou venezianas externas. Enfim, cada um destes componentes tem vantagens e desvantagens específicas que devem ser avaliadas. O processo de escolha é complexo, com critérios que assumem diferentes níveis de importância. Tal processo de escolha extrapola os limites desta tese.

Considera-se que a dinâmica de escolha e tomada de decisão acontece em diferentes escalas, articulando simultaneamente os princípios de complexidade, instabilidade e intersubjetividade inerentes e recorrentes no processo de projeto arquitetônico. Portanto, a título de estudo, define-se como recorte, o ensaio de quatro cenários específicos: (i) a cortina de vidro sem proteção, como projetada pelo escritório INSITE; (ii) adição de brises horizontais na superfície noroeste da cortina de vidro; (iii) adição de brises horizontais na superfície sudoeste da cortina de vidro; e, (iv) adição de brises horizontais simultaneamente nas superfícies noroeste e sudoeste.

Além das questões térmicas e luminosas, optou-se por simular diferentes possibilidades de inclinação das aletas do brise adicionado à face externa da cortina de vidro (figura 70), relacionando-as ao ponto de vista do observador, interna e externamente ao edifício.

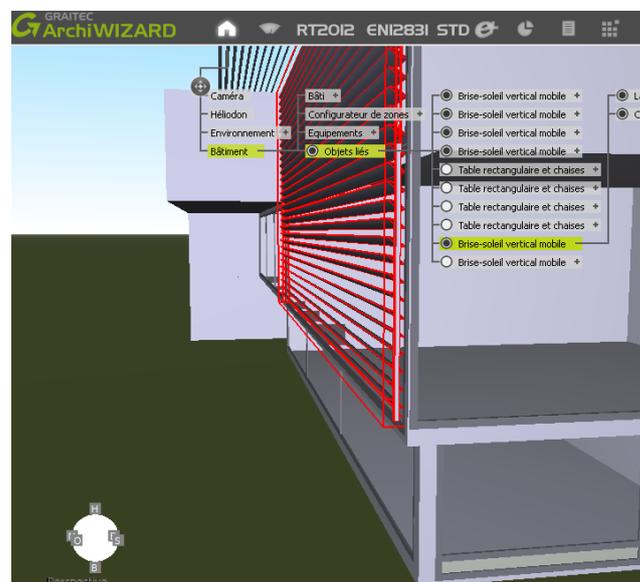


Figura 70 : Brise adicionado a face externa da cortina de vidro na fachada noroeste do projeto SICOOB. Software ArchiWIZARD. Fonte: elaborado pela autora.

O software ArchiWIZARD apresenta limitações que inviabilizam o uso pleno de seus recursos para o desenvolvimento de simulações no Brasil. Especialmente, em edificações com significativo índice de permeabilidade da envoltória em função do aproveitamento da ventilação natural para os ambientes internos. No caso específico do objeto de estudo, o ambiente selecionado para análise não dispõe de alternativas de ventilação natural devido ao fechamento em cortina de vidro fixo, sem previsão de aberturas. Entende-se, que neste caso, o software torna-se ferramenta útil para o desenvolvimento de ensaios comparativos, desde que, os dados possam ser extraídos e processados independentemente dos referenciais normativos europeus.

Neste sentido, a simulação concentra-se nos resultados de três parâmetros e seus respectivos indicadores (tabela 30) pré-definidos pelo software em relação ao desempenho térmico, energético e luminoso da construção ou de um determinado ambiente.

Tabela 30 : Parâmetros e indicadores disponíveis no software Archiwizard. Fonte: elaborado pela autora.

Temperatura		Iluminância			Energia	
Taxa de Desconforto	Nº de horas >25°C	Consumo de acordo com o cenário	Autonomia Luminosa	Conforto Luminoso	Necessidade anual de resfriamento	Necessidade anual de iluminacao
%	h	kWh/ano	%	%	kWh/m ²	kWh/m ²

A **taxa de desconforto (%)** é definida pela proporção entre o **número de horas (h)** com temperatura acima do limite estipulado e o número total de horas do período de uso pré-determinado pelo cenário.

O **consumo de iluminação (C)** do edifício ou da zona selecionada depende da configuração do cenário (definição dos horários de utilização do ambiente), da gestão do modelo (papel do profissional na manipulação das informações e dos recursos), dos níveis de iluminação estabelecidos para determinada tarefa e, por fim, da potência elétrica dos sistemas de iluminação (tipo de lâmpada). A relação entre estas variáveis apresenta-se estruturada na seguinte equação (ArchiWIZARD):

$$C [kWh/ano] = P [kW/(100lux.m^2)] \times superficie [m^2] \times valor\ de\ refer\encia [lux] \times per\iodo\ em\ que\ a\ iluminac\ao\ natural\ n\ao\ \acute{e}\ suficiente [h/ano]$$

A **autonomia luminosa (%)** do edifício ou da zona selecionada refere-se a porcentagem de tempo do cenário de iluminação ou da suficiência da iluminação natural em relação ao índice de iluminação estabelecido para o desempenho da tarefa.

O **conforto luminoso (%)** equivale à porcentagem de tempo ao qual o nível estabelecido para a iluminação (lux na área de trabalho) é atendido, graças à iluminação natural e artificial no que diz respeito ao período ao qual ele foi requisitado (cenário pré-definido). Depende ainda, da potência da lâmpada especificada.

Os indicadores de **d demanda anual de resfriamento** e **de iluminação** relacionam os dados de composição do modelo geométrico digital com o consumo energético estimado para atender os níveis de conforto pré-estabelecidos.

Diante disto, definem-se os quatro cenários de estudo (figuras 71 a 74):



Figura 71 : **Cenário 01** – equivale ao cenário tipo, como projetado: cortina de vidro sem sombreamento.



Figura 72 : **Cenário 02** – cortina de vidro com brise horizontal na fachada noroeste.



Figura 73 : **Cenário 03** – cortina de vidro com brise horizontal na fachada sudoeste.



Figura 74 : **Cenário 04** - cortina de vidro com brise horizontal nas fachadas noroeste e sudoeste.

Cada cenário foi analisado com brises de dimensão idêntica, alternando o ângulo de orientação das aletas (figuras 75 a 78), interferindo, por consequência, no campo de alcance visual do pedestre para o interior do edifício e do usuário para o entorno.

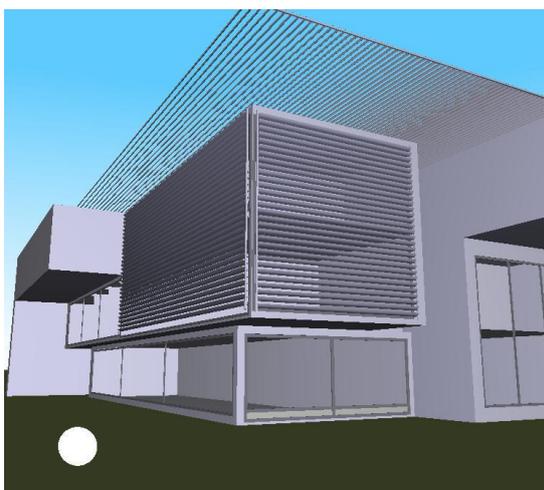


Figura 75 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a -30° .



Figura 76 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 0° .



Figura 77 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 30°.

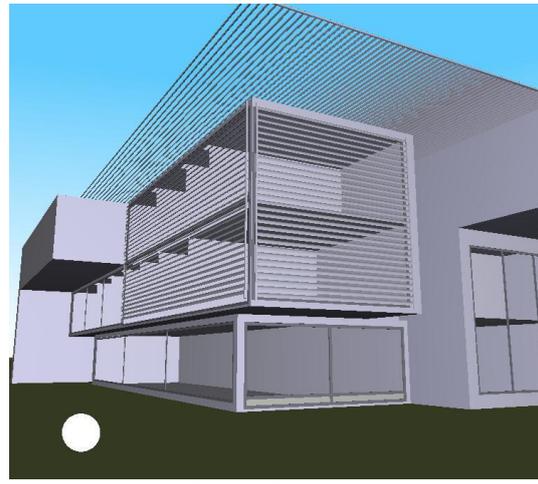


Figura 78 : Ponto de vista do pedestre na esquina. Brise horizontal, aleta a 45°.

A tabela 31 sintetiza os resultados quantitativos para cada cenário simulado.

Tabela 31 : Síntese dos resultados quantitativos dos diferentes cenários simulados. Software ArchiWIZARD. Fonte: Elaborado pela autora.

		Temperatura 		Iluminância 			Energia 	
		Taxa de Desconforto	Nº de horas >25°C	Consumo de acordo com o cenário	Autonomia Luminosa	Conforto Luminoso	Necessidade anual de resfriamento	Necessidade anual de iluminação
		%	h	kWh/ano	%	%	kWh/m²	kWh/m²
Cenários	Sem protecao	95	2486	147	89	90	196	2
	Superfície NW - Brise a -30º	91	2363	200	86	88	97	3
	Superfície SW - Brise a -30º	93	2435	147	89	90	157	2
	Superfície NW + SW - Brise a -30º	86	2242	205	85	88	63	3
	Superfície NW - Brise a 0º	90	2352	224	84	88	86	3
	Superfície SW - Brise a 0º	93	2434	147	89	90	155	2
	Superfície NW + SW - Brise a 0º	85	2213	237	83	88	51	3
	Superfície NW - Brise a 30º	88	2296	346	77	85	68	5
	Superfície SW - Brise a 30º	93	2417	147	89	90	144	2
	Superfície NW + SW - Brise a 30º	76	1984	382	73	84	31	5
	Superfície NW - Brise a 45º	87	2266	456	70	81	61	6
	Superfície SW - Brise a 45º	92	2402	148	89	90	138	2
	Superfície NW + SW - Brise a 45º	71	1866	520	64	77	13	7

A partir dos dados organizados na planilha acima, com o auxílio de ferramentas de parametrização, é possível elaborar gráficos com os vários parâmetros simultaneamente relacionados aos diferentes cenários sobrepostos. Com o apoio das funções da ferramenta TM Custom Radar v. 2.0 desenvolvida pela Tushar Mehta, para planilhas da plataforma Excel. Apesar de recursos dissociados, é possível visualizar o potencial destas diferentes ferramentas quando integradas. Observa-se que, organizados de maneira multidisciplinar, cada gráfico oferece uma infinidade de interpretações de suas partes sem

perder a possibilidade de visualização do conjunto. (*)Cada eixo do gráfico tem sua própria unidade de medida com os valores mínimo e máximo separados por vírgula e indicados entre parênteses.

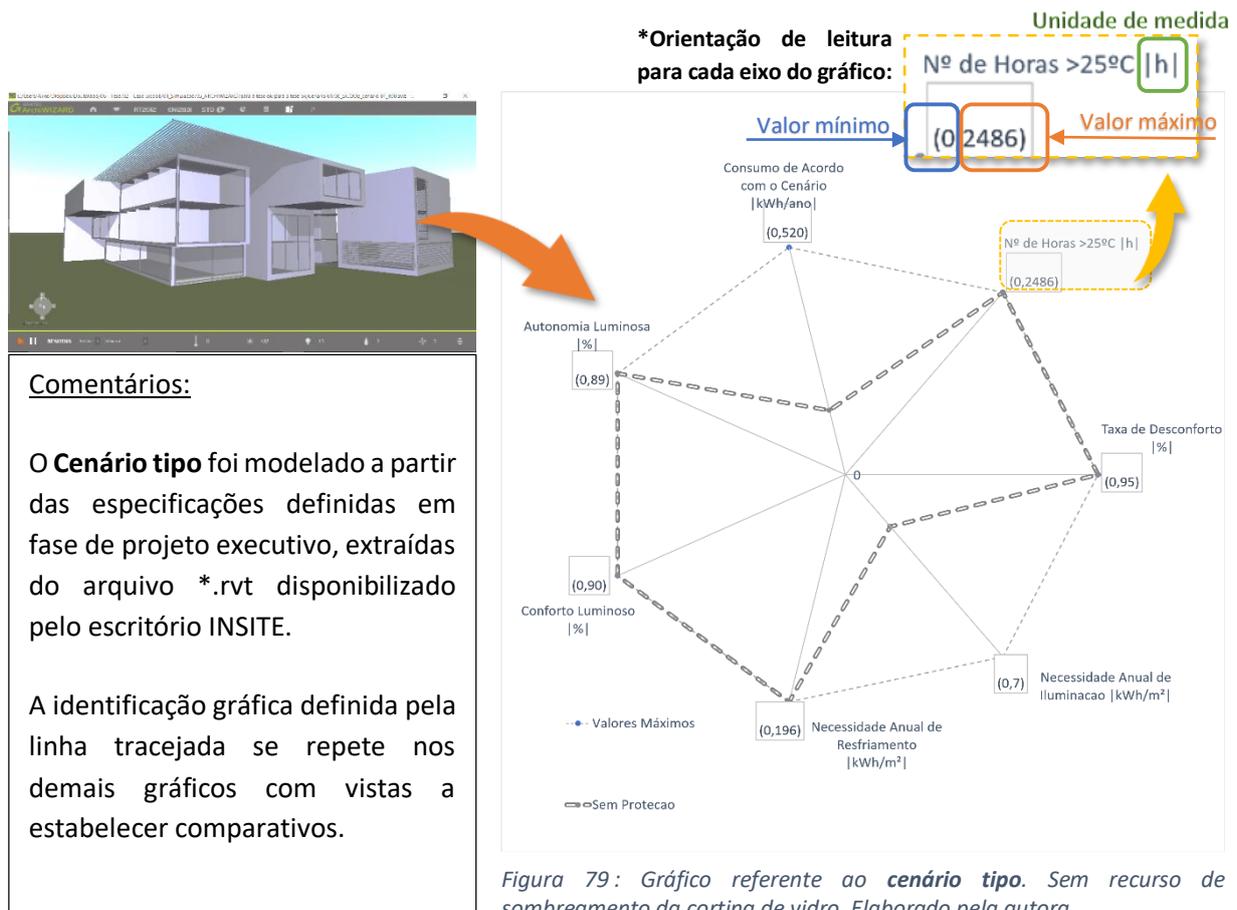


Figura 79: Gráfico referente ao cenário tipo. Sem recurso de sombreamento da cortina de vidro. Elaborado pela autora.

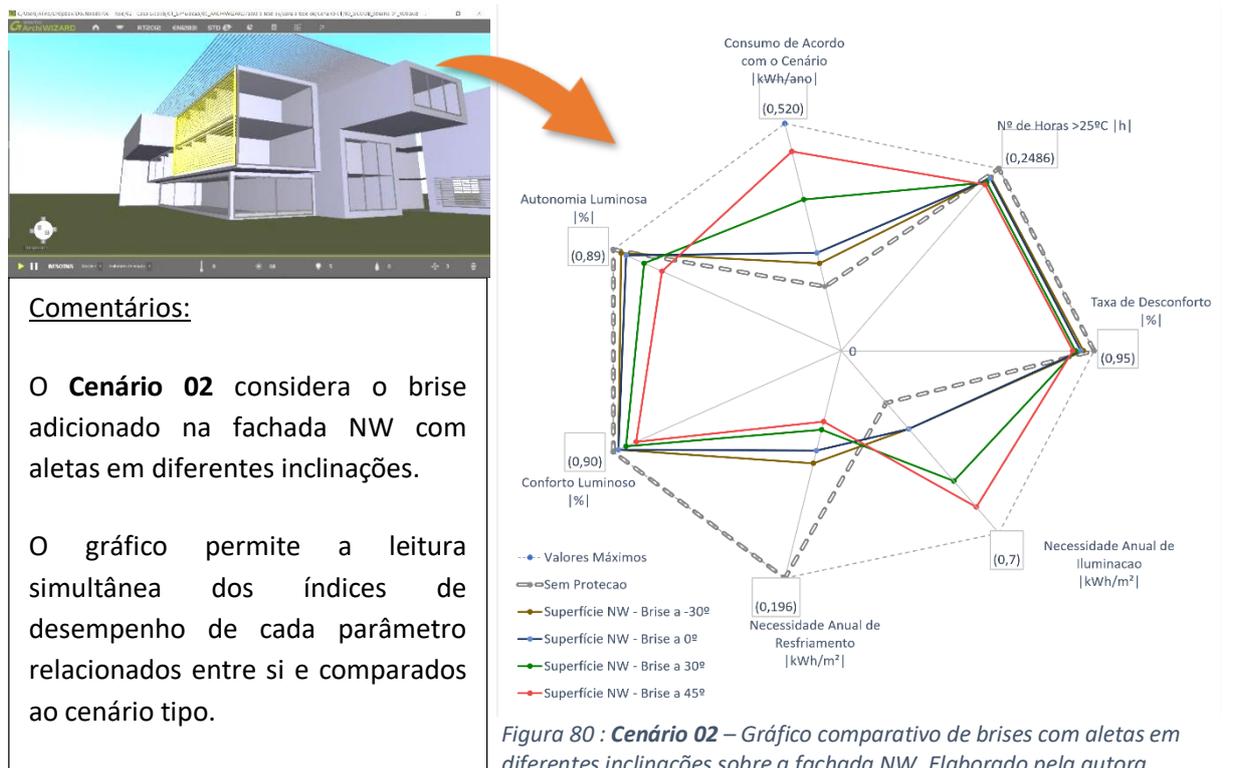


Figura 80: Cenário 02 – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre a fachada NW. Elaborado pela autora.



Comentários:

O **Cenário 03** considera o brise adicionado na fachada SW com aletas em diferentes inclinações.

A sobreposição das linhas no gráfico indica resultados de desempenho semelhantes ao cenário tipo, diferenciadas apenas no item de demanda de resfriamento.

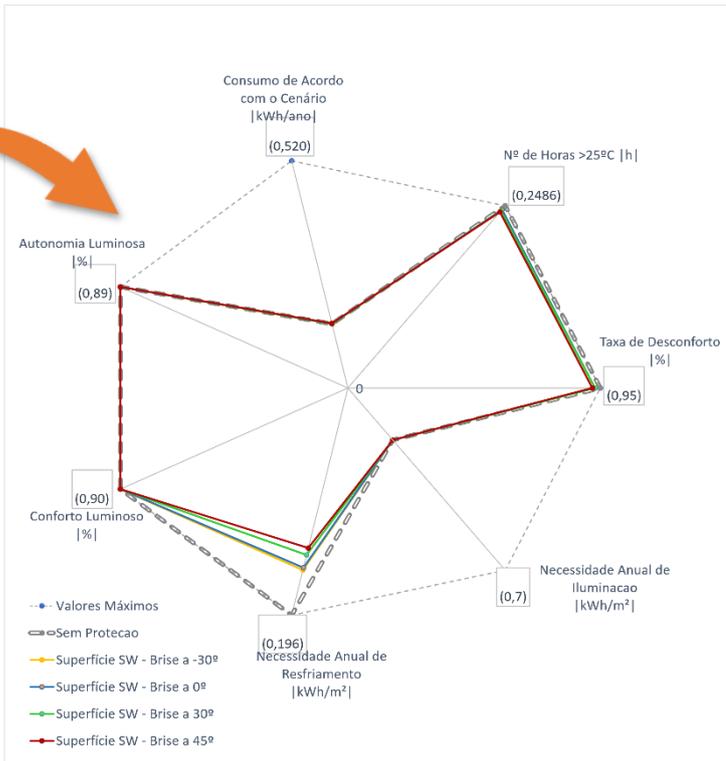


Figura 81 : **Cenário 03** – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre a fachada SW. Elaborado pela autora.



Comentários:

O **Cenário 04** considera o brise adicionado nas fachadas NW e SW com aletas em diferentes inclinações.

Os resultados demonstram que a adição dos brises nas fachadas NW e SW não representa ganho significativo de desempenho em relação às condições do Cenário 02. Neste caso, talvez o custo ou a estética pudessem ser adotados como critério de decisão.

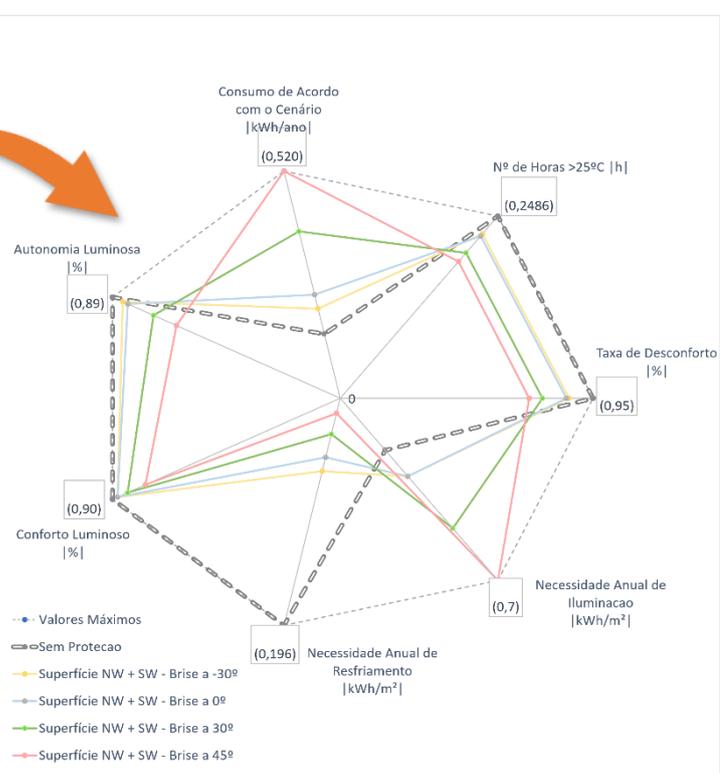


Figura 82 ; **Cenário 04** – Gráfico comparativo de brises com aletas em diferentes inclinações sobre as fachadas NW e SW. Elaborado pela autora.

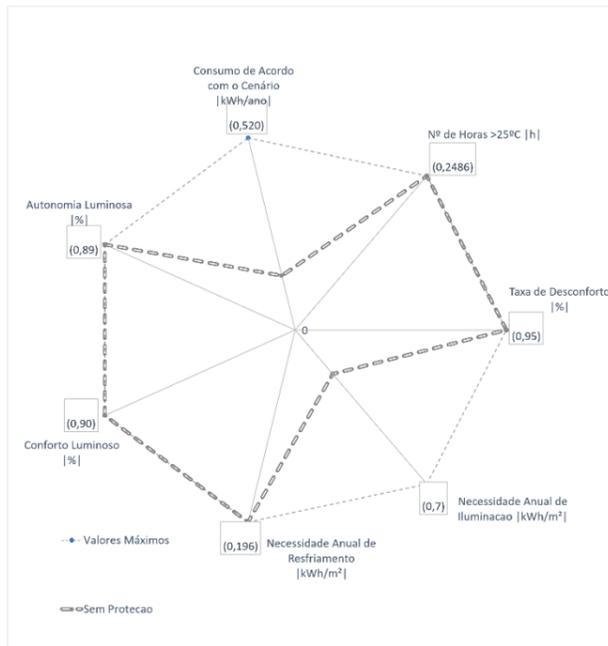


Figura 83 : Cortina de vidro sem sombreamento.

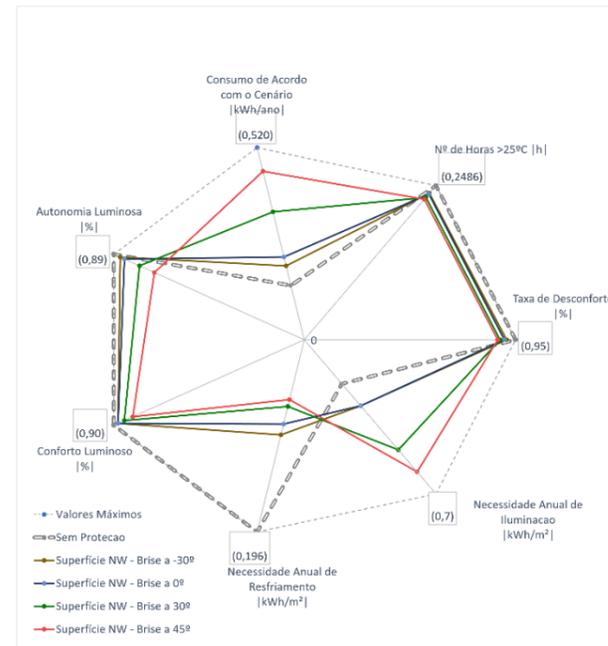


Figura 84 : diferentes inclinações do brise para a fachada NW.

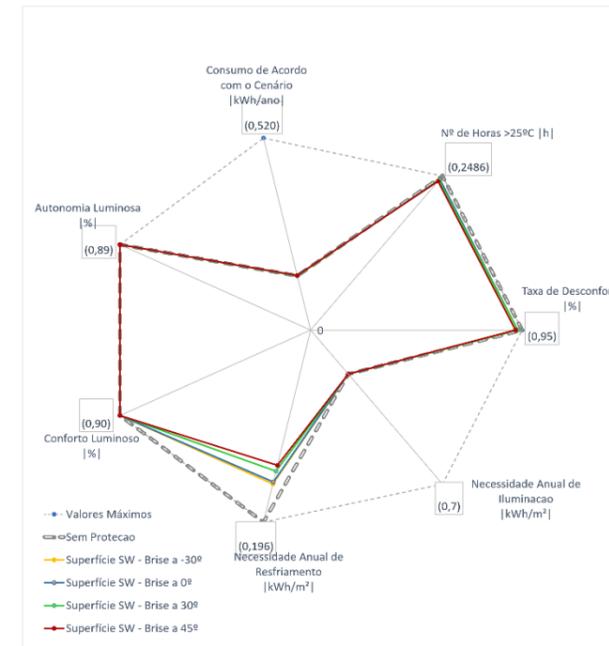


Figura 85 : diferentes inclinações do brise para a fachada SW.

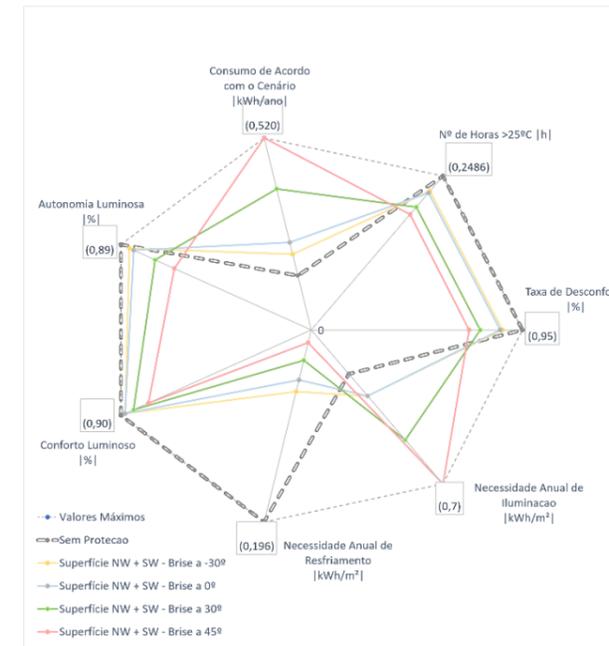


Figura 86 : diferentes inclinações do brise para a fachada NW e SW

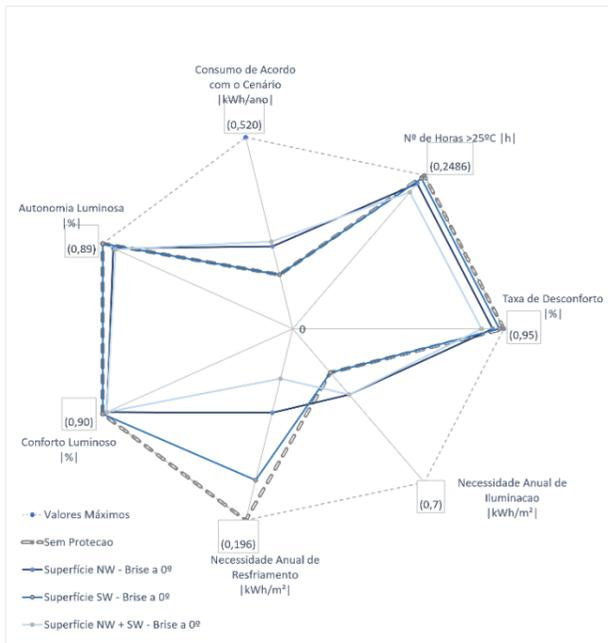


Figura 87 : Diferentes orientações de fachada, brise com aletas a 0°.

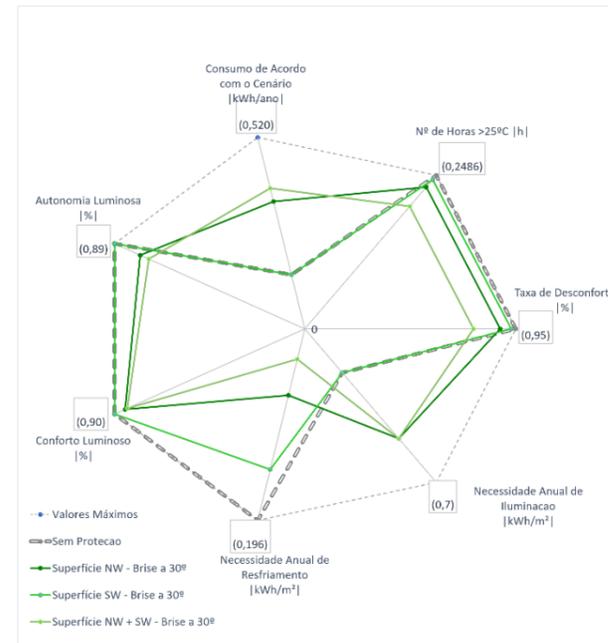


Figura 88 : Diferentes orientações de fachada, brise com aletas a 30°

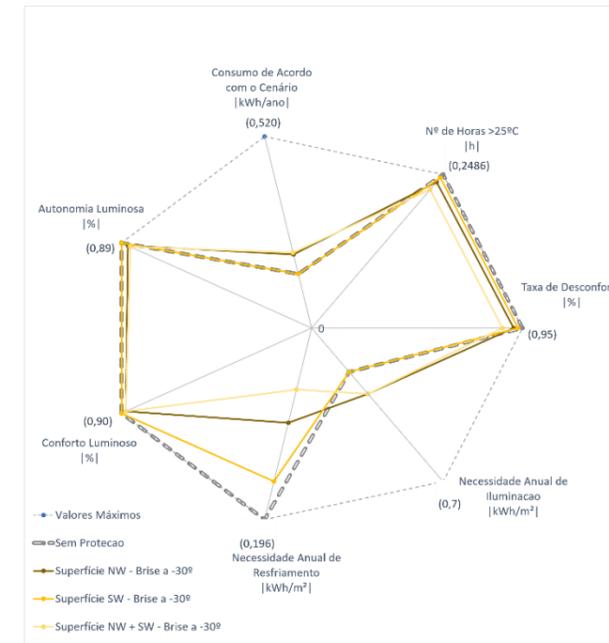


Figura 89 : Diferentes orientações de fachada, Brise com aletas a -30°

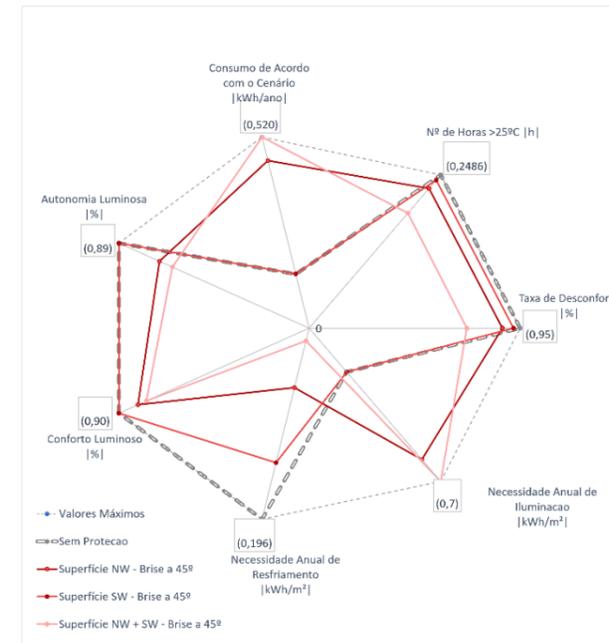


Figura 90 : Diferentes orientações de fachada , Brise com aletas a 45°

Os gráficos padrões teia de aranha ou radar foram adotados de maneira não convencional, com eixos definidos em diferentes escalas com suas respectivas unidades de medida, favorecendo a visualização e a interpretação dos dados em suas diferentes categorias. Quando parametrizados com a ferramenta adequada, permitem a leitura integrada das variáveis associadas a diferentes parâmetros simultaneamente. Esta dinâmica pode ser entendida, em parte, como uma estratégia de colaboração para a análise multicritério. O deslocamento entre linhas e seus vértices assumem significados próprios e a sobreposição dos dados resultam em interpretações inter-relacionais. O que, por fim, reforça a necessidade de comprometimento da equipe de projeto com critérios claros e objetivos que ajudem a determinar e justificar a escolha de uma opção em detrimento de outra.

3.8. Reflexões

A proposta de se elaborar um *mapa de decisões* (figura 91) surgiu em razão do desafio de melhor compreender e explicitar as conexões e inter-relações inerentes à tomada de decisão ao longo de um processo de decomposição e análise comprometidos com os requisitos ambientais. Lidar com o caráter complexo, instável e intersubjetivo das questões projetuais deve ser um exercício natural e contínuo.

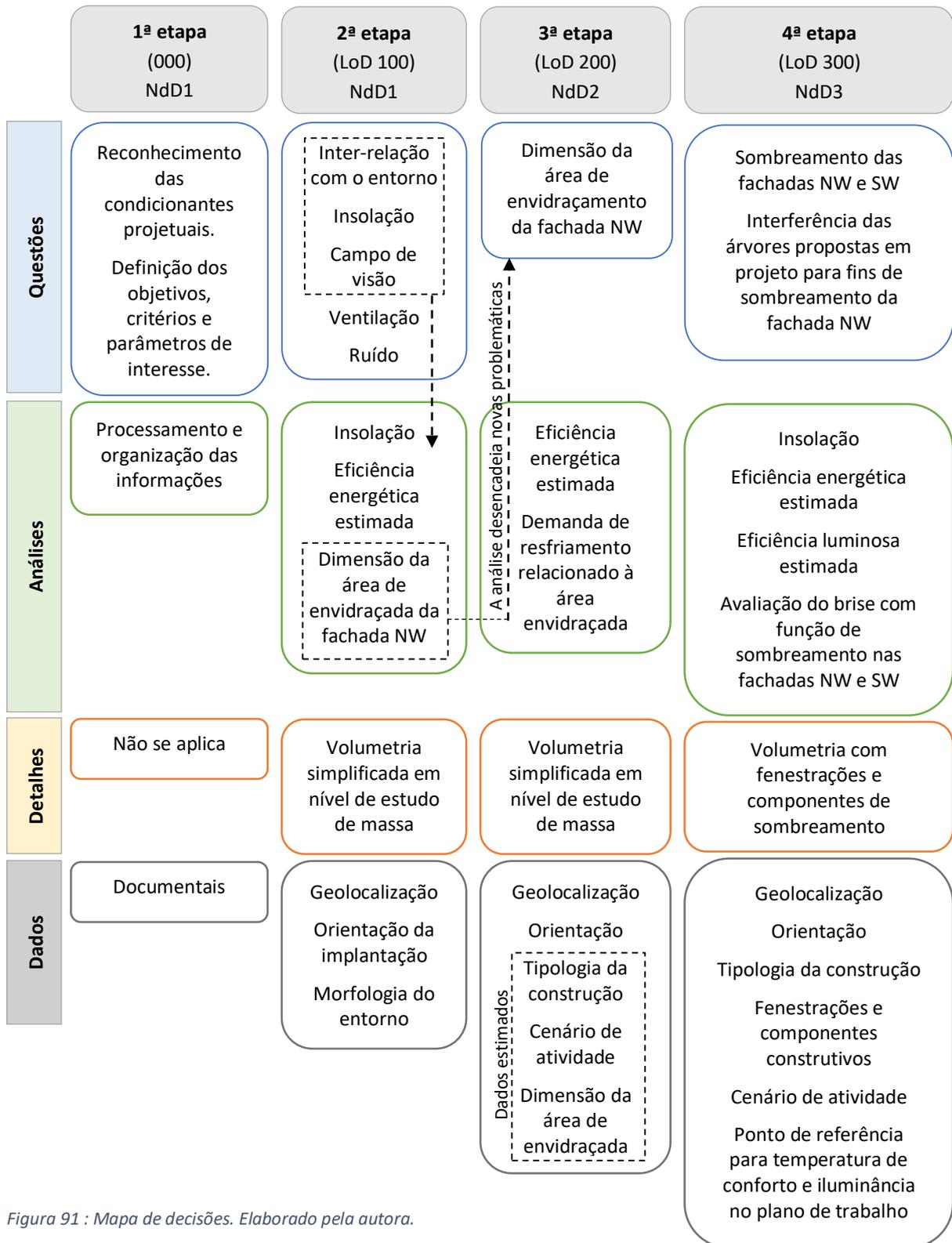


Figura 91 : Mapa de decisões. Elaborado pela autora.

Os desdobramentos do processo de análise se mostram infundáveis. Ao longo da pesquisa de tese, outras simulações foram desenvolvidas, com diferentes ferramentas e níveis de detalhes. Contudo, entende-se que, os exemplos selecionados mostraram-se suficientes para o debate, ainda que superficialmente, acerca da inter-relação entre os níveis de dados e detalhes associados aos diferentes níveis de desenvolvimento do modelo geométrico digital para o específico projeto de estudo.

APRESENTAÇÃO | OBJETIVOS**CAPÍTULO IV****4. CONSIDERAÇÕES
FINAIS**

Este capítulo dedica-se às considerações finais, ao esclarecimento das limitações da pesquisa de tese e, por fim, a reflexão sobre os possíveis desdobramentos deste trabalho.

Em suma, quanto mais se conhece sobre um tema, mais desconstruído ele se mostra e mais se descobre que ainda falta a saber.

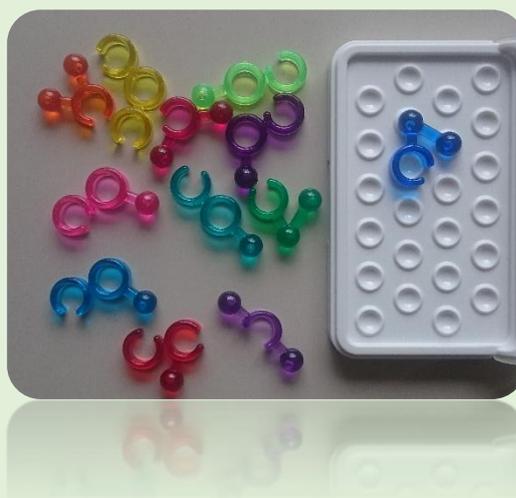


Figura 92 : Quebra-cabeça (imagem ilustrativa). Cada parte pode assumir diferentes posições e, ainda assim, ter o seu papel na conformação do todo. Fonte: elaborado pela autora.

4.1. Considerações finais

Ao longo do período de desenvolvimento da pesquisa de tese, enfrentou-se o desafio de articular conceitos, ideias e referenciais teóricos a uma tentativa de aproximação com o exercício profissional do arquiteto e urbanista, quando comprometido com as questões ambientais. Acredita-se que, os pressupostos da complexidade, da instabilidade e da intersubjetividade configuram-se como oportunidade de diálogo entre os problemas de projeto e, não necessariamente, como obstáculos a serem enfrentados.

O processo de concepção projetual assume um caráter sistêmico e interdependente, se distanciando da ideia de uma estrutura linear de desenvolvimento. Como pôde ser percebido ao longo deste trabalho, as questões ambientais devem se inserir na dinâmica de tal estrutura sistêmica e ser capaz de interagir com as demais variáveis em um processo híbrido, que dispõe do suporte de ferramentas manuais e digitais.

Neste sentido, a estrutura do sistema BIM, permite sobrepor e proporcionar interação entre camadas, articulando diversos projetos (arquitetônico, estrutural, elétrico, além de especificações técnicas, custos e etc.) associados à um mesmo modelo geométrico digital. Esta estrutura incentiva o trabalho integrado entre os profissionais envolvidos e resulta em um cenário de enfrentamento de problemas que, em geral, devido à complexidade e ao número de variáveis de um projeto arquitetônico, demandam uma abordagem multicriterial e multidisciplinar.

Entende-se o sistema BIM como um ambiente que associa o espaço físico (agentes e territórios de decisão) ao espaço digital (modelo geométrico digital parametrizável). Acredita-se que o potencial do ambiente BIM está na capacidade de troca que ele oferece, seja entre os próprios agentes, entre agentes e ferramentas ou entre as próprias ferramentas. Este potencial de articulação depende diretamente da tomada de decisão de um ou mais agentes diante de um amplo conjunto de informações físicas e digitais consideradas conjuntamente.

Neste contexto, alguns limites podem ser identificados e estratégias adotadas para minimizá-los:

- (i) Ausência de profissionais que trabalhem com o sistema BIM, o que demanda capacitação e atualização da mão-de-obra no mercado de trabalho;
- (ii) Conflito de decisões, demanda o envolvimento e comprometimento da equipe com objetivos comuns;
- (iii) Profissionais com perfil de especialista, dedicados à um recorte do campo de saber no âmbito da eficiência e conforto do edifício. Demanda pela formação de profissionais generalistas e com capacidade de atuação multidisciplinar.

Ao decorrer da pesquisa e do desenvolvimento da tese, os limites entre os papéis de projetista e de analista ambiental se mostraram tênues e, por vezes, até inexistentes. O que nos faz refletir sobre o possível equívoco quanto à dissociação entre os termos software de análise e software de concepção, já que o exercício de analisar é por si só, uma busca pela solução do problema e, por consequência, parte da concepção do projeto. Esta reflexão destaca a necessidade de formação e atuação

multidisciplinar dos projetistas em parceria com os demais profissionais envolvidos desde as etapas preliminares de concepção.

As ideias exploradas e desenvolvidas no corpo desta tese contribuem, dentro de seus limites, para alcançar o objetivo pré-estabelecido para este trabalho: *avançar no debate sobre as estratégias de análise ambientais no processo de projeto arquitetônico imerso no campo das mídias digitais.*

Por fim, em resposta a verificação da hipótese, acredita-se que o sistema BIM – e não só a ferramenta BIM –, através da parametrização, da modelagem tridimensional – e também, da interoperabilidade – favorece a relação entre a análise ambiental e a concepção arquitetônica. Contudo, não é a proposta do sistema BIM em si, que *cria condições favoráveis para a abordagem multicritério e possibilita o desenvolvimento de edificações comprometidas com o desempenho ambiental*, como elaborado na hipótese. Conclui-se que, frente às novas tecnologias disponíveis, é justamente a postura ética e comprometimento profissional dos diversos agentes do projeto que contribui, conjuntamente, para a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de edificações comprometidas com o desempenho ambiental.

4.1.1 Limitações da tese

No decorrer da pesquisa da tese, alguns elementos tornaram-se limitadores substanciais ao processo e outros foram contornados, mas independentemente do grau, certamente, interferiram nas escolhas que resultaram no produto final deste trabalho. Em geral, os limitadores parecem se concentrar na questão de operabilidade, refletindo a incipiência e a fragilidade das ferramentas e dos sistemas digitais disponíveis atualmente. Dentre eles, destacam-se:

- **Interoperabilidade:** Apesar das iniciativas do grupo BuildingSMART dedicados à universalização do formato IFC, na prática, a interoperabilidade entre softwares de diferentes desenvolvedores funciona bem com a geometria do modelo, mas demanda retrabalho na conferência ou ajustes das informações não-geometrizadas;
- **Modelagem digital:** quando o modelo geométrico digital se encontra preenchido com informações de diferentes disciplinas, como no arquivo de base deste estudo, torna-se difícil a simplificação ou redução para um modelo de massa para desenvolver simulações, mesmo que, genéricas;
- **Tamanho do arquivo – capacidade de processamento:** a centralização da infinidade de informações e especificações, em geral, parametrizadas em um mesmo modelo geométrico digital, resulta em um arquivo pesado, demandando equipamentos com boa capacidade de processamento para lidar com a diversidade de dados simultaneamente;
- **Banco de dados:** no cenário brasileiro, identifica-se a carência de um banco de dados diversificado e padronizado de materiais e componentes construtivos com suas respectivas propriedades físicas e mecânicas. Espera-se que a Norma de Desempenho vigente desde 2013, colabore para qualificação dos produtos e sua documentação no âmbito da construção civil;
- **Transitoriedade da versão de diferentes ferramentas digitais:** durante o período de desenvolvimento da pesquisa de tese, pôde-se identificar alterações significativas entre os recursos de análise ambiental disponibilizados a cada versão de atualização, em especial, nos softwares da plataforma Autodesk;

- **Versão ArchiWIZARD:** no mesmo sentido, a limitação remete à questão da transitoriedade. Durante os três primeiros anos da pesquisa de tese, o software ArchiWIZARD se encontrava disponível em versão gratuita denominada “Esquisse”. Contudo, desde o final de 2016, sob nova gestão – pela Graitec – o software passou a ser disponibilizado apenas em versão de teste limitada a 30 dias, o que representou significativa limitação para o desenvolvimento das últimas simulações propostas neste trabalho;
- **Trabalho individualizado:** o processo de análise apresentado no corpo da pesquisa de tese foi desenvolvido exclusivamente a partir do ponto de observação da autora. Limitando-se, portanto, a reflexões isoladas e desconectadas de um grupo maior de agentes, geralmente, integrados ao processo de concepção projetual;
- **Único objeto de estudo:** entende-se que, a princípio, a utilização de um único objeto de estudo pode restringir o campo de alcance das discussões propostas ao longo da pesquisa de tese. No entanto, acredita-se que, independentemente do objeto, o mesmo método poderia ter sido adotado para outras condições projetuais, se desdobrando, certamente, em outros debates.

4.1.2 Recomendações para pesquisas futuras

Partindo do pressuposto de que leitor/observador irá construir suas próprias conexões cognitivas acerca de um mesmo objeto, no caso, o conteúdo deste trabalho, acredita-se que inúmeros desdobramentos podem, eventualmente, emergir. A princípio, algumas sugestões mostram-se pertinentes:

- Desenvolvimento de novas análises sincronizadas com as etapas subsequentes ao projeto executivo, alimentando o modelo geométrico digital com informações durante a fase de execução, uso e operação da edificação. Estendendo, assim, a análise aos níveis, 400, 500 e 600 previstos pelo *American Institute of Architects (AIA)*;
- Aprofundamento das simulações vinculadas a uma solução de compromisso, investigando outros parâmetros de interesse;
- Propor comparativo e validação dos resultados a partir de outros recursos e/ou abordagens analíticas;
- Desenvolver pesquisas sobre o BIM e seus conteúdos associados, tais como parametrização, modelagem digital e interoperabilidade;
- Contribuir com outras pesquisas desenvolvidas no programa de pós-graduação – PROARQ FAU-UFRJ, com vistas a dar continuidade à investigação multidisciplinar acerca do desempenho do edifício.

5. ANEXOS

ANEXO 1 – Ofício de solicitação do Projeto desenvolvido em ferramenta BIM.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

Ofício nº: 007/2015

Assunto: Solicitação versão projeto BIM

Rio de Janeiro, 15 de junho de 2015

À INSITE Arquitetos,
A/C Arquiteto Frederico Paione.

Prezados Senhores,

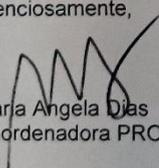
Encontra-se em realização pela arquiteta Aline Calazans Marques, aluna do PROARQ-FAU/UFRJ, matrícula 113015945, a pesquisa da tese de doutorado intitulada "ANÁLISE AMBIENTAL NA ERA DIGITAL: diálogo com a ferramenta BIM". Esta pesquisa visa contribuir para avanços no debate sobre as estratégias de análise energético-ambientais no processo de projeto arquitetônico imerso no campo das mídias digitais. Propõe-se investigar, como estas estratégias poderiam ser aperfeiçoadas via parametrização e integração com o sistema BIM (Building Information Modelling).

Ressalta-se que o trabalho em questão tem fins acadêmicos e a divulgação dos resultados parciais e final se dará através da publicação de artigos em periódicos e congressos, e da versão digital da tese via CAPES, sendo de uso irrestrito à consulta.

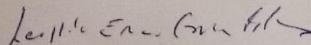
Considerando-se a importância da temática do BIM no panorama nacional, compreendemos que o projeto SICOOB CREDIARA, implantado em Araxá – MG, desenvolvido pela INSITE Arquitetos, se enquadra no perfil deste estudo de tese, e poderia ser objeto de observação e análise.

Assim, vimos através desta solicitar condições de acesso ao referido projeto em sua versão digital desenvolvida no software Revit/Autodesk. Consideramos que esta permissão de acesso a esta versão será de grande valia e contribuirá para o desenvolvimento da pesquisa de tese em questão.

Atenciosamente,


Maria Angela Dias
Coordenadora PROARQ-FAU/UFRJ

De acordo,


Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos
Prof. Orientador PROARQ-FAU/UFRJ



INSITE ARQUITETOS

DECLARAÇÃO

A empresa INSITE Arquitetos Ltda., estabelecida a Praça Mahatma Gandhi, 2 / grupo 1001, Centro, nesta cidade, registrada no CNPJ sob o nº 01.971.687/0001-75, declara para os devidos fins, que recebeu da Arquiteta Aline Calazans Marques o Ofício nº 007/2015, datado de 15/06/2015, referente a “solicitação versão projeto BIM”, para utilização na pesquisa da tese de doutorado.

Salientamos que os arquivos disponibilizados se referem ao projeto para a nova sede do SICOOB Crediara, a ser construído na cidade de Araxá/MG, de autoria dos Arquitetos Frederico Paione, Marcela Fallavena Passagem e Pedro Paulo Carrires Rato, fornecidos na extensão .RVT, e elaborados a partir do software Autodesk REVIT 2015®, dentro dos padrões compatíveis com sua natureza.

Rio de Janeiro, 20 de julho de 2015.

Frederico Paione
Arquiteto Titular IA
CAU A16907-2

T +55 21 2240 1853

PRAÇA MAHATMA GANDHI 2/1001
20031-100 RIO DE JANEIRO RJ
BRASIL

INSITEARQUITETOS.COM.BR

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações** - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15965: Sistema de classificação da informação da construção**: Parte 7: Informação da construção. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

AIA (The American Institute of Architects). **Document G202™ – 2013: Project Building Information Modeling Protocol Form**. Disponível em: <http://aiad8.prod.acquia-sites.com/sites/default/files/2016-09/AIA-G202-2013-Free-Sample-Preview.pdf> . Acesso em: junho 2016.

ALEXANDER, C. **A city is not a tree**. In: Architectural Forum, Vol 122, No 1, p. 58-62, 1965.

ASBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura). **Guia AsBEA Boas Práticas em BIM**. Fascículo I, São Paulo: AsBEA, 2013.

ASBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura). **Guia AsBEA Boas Práticas em BIM**. Fascículo II, São Paulo: AsBEA, 2015.

ATLAN, H. **L'intuition du complexe et ses théorisations**. In : SOULIÉ, F.F. et al. Colloque de Cérisy en 1984 : Les théories de la complexité. Paris : Éditions du Seuil, p. 9-42, 1991.

AUTODESK. **Ecotect Analysis Discontinuation FAQ**. 2016. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/ecotect-analysis/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Ecotect-Analysis-Discontinuation-FAQ.html>. Acesso em: 02 junho 2016.

AUTODESK. **Sustainable Building Design Software**. 2015. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>. Acesso em: 27 julho 2015.

AUTODESK. **This Site Is Now Closed - Ecotect v5.6 and Earlier**. 2011. Disponível em: <http://www.squ1.com/>. Acesso em: 02 junho 2016.

AUTODESK. **Vasari**. 2015. Disponível em: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/software/vasari>. Acesso em: 03 agosto 2016.

BERARDI, U. **Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building**. Sustainable Cities and Society, v. 8, p. 72–78, 2013.

BITTENCOURT, L. **Considerações Preliminares sobre o Projeto do Edifício Ambiental**. In: GONÇALVES, J. C. S; BODE, K. (orgs.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 36-46, 2015.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos**. 4. ed., Maceió: Ed. UFAL, 2004.

BUCHANAN, R. **Wicked Problems in Design Thinking**. In Design Issues, v. VIII, n. 2, 1992, pp. 5-21.

BUILDINGSMART. **Certified Software**. BuildingSMART (site oficial), 2014. Disponível em: <http://www.buildingsmart.org/compliance/certified-software/>. Acesso em: 27 julho 2015.



CASTELLS, E. **Traços e palavras: sobre o processo projetual em Arquitetura**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012.

CASTRO, E. **Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação**. Tese (doutorado). COPPE/UFRJ e INSA/LYON. Rio de Janeiro e Lyon: Universidade Federal do Rio de Janeiro e Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.

CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil). **Parceria CAU/BR e Graphisoft oferece desconto de até 40% para ArchiCAD**. Disponível em: <http://www.caubr.gov.br/parceria-caubr-e-graphisoft-oferece-desconto-de-ate-40-para-archicad/>. Acesso em: 04 dezembro 2016.

CELNIK, O. **Le BIM en question**. In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction**. 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique**. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

CHASE, W.; SIMON, H. **Perception in Chess**. *Cognitive Psychology* n.4, p.55-61, 1973.

CHRISTOPH Niemann: ilustrador. **Abstract: the art of design**. Temporada 1, Episódio 1. Produção de Marcella Steingart. Netflix Studios, 2016.

CLARKE, J. A. **Energy Simulation in Building Design**. Edição Kindle: Taylor and Francis, 2007.

CUNHA, A. G. da. **Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Lexikon, 2010.

DESIGNBUILDER. **3-D CAD Model Import**. DesignBuilder (site oficial), 2015. Disponível em: <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/67/106/>. Acesso em: 27 julho 2015.

DIVA. **Diva for Rhino - Environmental Analysis for Buildings**. 2015. Disponível em: <http://diva4rhino.com/>. Acesso em: 27 julho 2015.

DUTREIX, A. **Bioclimatisme et performances énergétiques de bâtiments**. Groupe Eyrolles: Paris, 2010.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FARRELLY, L. **Fundamentos de Arquitetura**. Tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre: Bookman, 2010.

FERNANDES, M. R. S. **Da Cor Magenta: um tratado sobre o fenômeno da cor e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Synergia, 2008.

FERNANDEZ, P.; LAVIGNE, P. **Concevoir des bâtiments bioclimatiques fondements & méthodes**. Paris: Éd. Le Moniteur, 2009.

FERRIES, B. **La carte du BIM**. In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction**. 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

FONTENELLE, M. R.; BASTOS, L. E. G. **The multicriteria approach in the architecture conception: Defining windows for an office building in Rio de Janeiro**. In: Building and Environment 74, p. 96-105, 2014.

FOOD. **Food for Rhino - Apps for Rhino and Grasshopper**. 2015. Disponível em: <http://www.food4rhino.com/project/ggific?ufh>. Acesso em: 27 julho 2015.

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

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Alta Qualidade Ambiental - Processo AQUA / HQE**, 2010.

GEYER, P. **Component-oriented decomposition for multidisciplinary design optimization in building design**. Advanced Engineering Informatics, 23, 12-31, 2009.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (orgs.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GOOGLE MAPS. **Street View - Araxá, Minas Gerais**. Captura da imagem: setembro 2013.

GOOGLE MAPS. **Street View - Araxá, Minas Gerais**. Captura da imagem: agosto 2015.

HART, C. **Doing a literature review: releasing the social science research imagination**. Londres: Sage, 1998.

HAUSLADEN et al. **ClimateSkin – Building-skin Concepts that Can Do More with Less Energy**. Berlin: Birkhäuser, 2006.

HAZELRIGG, G. A. **Engineering design in the age of modeling and simulation**. In: IIT MMAE Symposium on Sustainability and Product Development, Chicago, 2008. Disponível em: http://mmae.iit.edu/symposium/downloads/Hazelrigg_Abstract.pdf. Acesso em: 22 julho 2015.

HENS, H. **Applied Building Physics. Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties**. Berlin: Ernst & Sohn, 2011.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Orgs.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Kindle Edition. New York: Spon Press, 2011.

HEYLIGHEN, F. **Building a science of complexity**. Annual Conference of the Cybernetics Society. Londres, 1988.

HOYET, N.; DUCHENE, F.; DE FOUQUET, M. **BIM et Architecture**. Malakoff: Ed. Dunod, 2016.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Araxá, Minas Gerais**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310400&search=minas-gerais|araxa>. Acesso em: 12 janeiro 2016.

IBPSA (International Building Performance Simulation Association). **Site oficial**. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/>. Acesso em: 05 julho 2015.

INMET. **Banco de dados Climáticos**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf. Acesso em: 05 julho de 2015.

IPDSA (Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá). **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Araxá: Aspectos Físicos**. Araxá: IPDSA, 2014. Disponível em: http://ipdsa.org.br/dados/link/151/arquivo/Aspectos%20F__sicos_DP%202014.pdf. Acesso em: 05 julho 2015.

IPDSA (Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Araxá). **História do IPDSA**. Disponível em: <http://ipdsa.org.br/menu/link/108/historia-do-ipdsa>. Acesso em: 17 janeiro 2017.

ISO 29481-1. **Building information modelling - Information delivery manual**, Part 1: Methodology and format, 2010.

ISO 29481-2. **Building information models - Information delivery manual - Part 2: Interaction framework**, 2012.

JENSEN, H. **Industry Foundation Classes - A study of its requested use in Configura**. Thesis - Department of Computer and Information Science. Suécia: Linköping University, 2015.

JOLY, M. **Introduction à l'analyse de l'image**. 2. ed. Paris: Armand Colin, 2009.

KENSEK, K.; NOBLE, D. **Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice**. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2014.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. 3. ed. Kindle Edition. New Jersey: Wiley, 2013.

KLEINMAN, P. **Psicologia: tudo o que você precisa saber sobre**. Tradução Leonardo Abramowicz. 2. ed. São Paulo: Editora Gente, 2015.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. NY: Taylor & Francis, 2005.

KRYGIEL, E. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. Indianapolis, Ind: Sybex, 2008.

KUBBA, S. **Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM, and Green Globes.** Kindle Edition. Waltham, MA-USA: Butterworth-Heinemann, 2012.

LAAKSO, M.; KIVINIEMI, A. **The IFC standard - A review of history, development, and standardization.** Electronic Journal of Information Technology in Construction, p.134-161, 2012. Disponível em: http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2012_9. Acesso em: 12 junho 2015.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Software Analysis Bio v.2.2.** Versão gratuita, 2010.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Software Analysis Sol-Ar v.6.2.** Versão gratuita, 2009.

LE MOIGNE, J. L. **La théorie du système general: Théorie de la Modélisation.** Paris: Presses Universitaires de France, 1977.

LEBÈGUE, E. **Processus de conception.** In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction.** 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

LECUSSAN, R. **ArchiWIZARD.** In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction.** 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

LEITE, R. M. **Orçamento e Levantamento de Custos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <acmaquetes@yahoo.com.br> em 15 fevereiro 2017.

LEUPEN, B. et al. **Design and Analysis.** New York: VNR, 1997.

LORENZO, M. **Arborização Urbana com Espécies Nativas.** Reino Metaphyta, 2013. Disponível em: <https://reinometaphyta.wordpress.com/2013/03/24/arborizacao-urbana-com-especies-nativas/>. Acesso em: 21 julho 2016.

LOVELL, J. **Building envelopes an integrated approach.** New York: Princeton Architectural Press, 2010.

LYNN, G. (Coord.). **L'archéologie du numérique.** Montréal: CCA, 2v. 2013.

MARTINS, P. C. F. **A interoperabilidade entre sistemas BIM e simulação ambiental computacional: estudo de caso.** Dissertação de mestrado. UFB – DF, 2011.

MAURY, A. **Mediaconstruct, représentant de l'open BIM en France.** In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction.** 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

MEDEIROS, H. **BIM - Uma nova maneira de projetar e modelar.** FINESTRA. São Paulo: ArcoWeb. Ed. 57, maio/junho 2009. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/rj-16-07-2009.html>. Acesso em 06 julho 2015.

MENDES, N. et al. **Building simulation in Brazil.** In: IBPSA - Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, 2001.

MITCHELL W. J. **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição.** Tradução Gabriela Celani. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 10 julho 2016.

MOLLE, D.; PATRY, P. M. **RT 2012 et RT existant. Réglementation thermique et efficacité énergétique.** Clermont Ferrand: Eyrolles, 2011.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento Complexo.** Tradução Eliane Lisboa. Porto Alegre: Sulina, 2006.

MORIN, E. **O Método I: a natureza da natureza.** Tradução Ilana Heineberg. Porto Alegre: Sulina, 1977.

NEISSER, U. **Cognitive psychology.** Michigan: Appleton-Century-Crofts, 1967.

NEUFELD, C. B.; BRUST, P. G.; STEIN, L. M. **Bases Epistemológicas da Psicologia Cognitiva Experimental.** In: **Psicologia: Teoria e Pesquisa.** v. 27, n. 1, p. 103-112, 2011.

NOAA - National Centers for Environmental Information. **NCEI Geomagnetic Calculators.** Disponível em: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-we>. Acesso em: 08 Janeiro 2017.

PALLASMAA, J. **The Eyes of the Skin - Architecture and the Senses.** Sussex: Wiley, 2005.

PAZLAR, T.; TURK, Z. **Interoperability in practice: Geometric data exchange using the IFC standard.** *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, p.362–380, 2008.

PICON, A. **Digital Culture in Architecture an Introduction for the Design Professions.** Basel: Birkhäuser, 2010.

PIERREFEU, G. **État de l'art en France.** In: CELNIK, O.; LEBÈGUE, E. **BIM & maquette numérique : Pour L'architecture, le bâtiment et la construction.** 2. ed. CSTB. Paris: Eyrolles, 2015.

ROCHA, E. **Conforto na Arquitetura e no Design.** São Paulo: Essencial Idea, 2016.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público.** Brasília: Editora UNB, 2001.

RORIZ, M. **Software ZBBR v.1.1.** Zoneamento Bioclimático do Brasil – UFSCar, Versão gratuita, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software>s. Acesso em: 12 julho 2016.

RORIZ, M. **Banco de dados Climático.** Versão 2012. Disponível em http://www.roriz.eng.br/epw_9.html. Acesso em: 09 agosto 2015.

RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.** São Carlos: ANTAC, 2012.

SANTOS, C. M. L. **Compreendendo o edifício como organismo. Interfaces entre pensamento sistêmico, metodologia do projeto e sustentabilidade.** Tese (doutorado em arquitetura). Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ, 2012.

SCHERER, D. **The Death of Drawing: Architecture in the Age of Simulation**. NY: Routledge, 2014.

SCHENK, L. R. **Os croquis na concepção arquitetônica**. São Paulo: Annablume, 2010.

SHENK, D. **O jogo imortal: o que o xadrez nos revela sobre a guerra, a arte, a ciência e o cérebro humano**. Tradução Roberto F. Valente. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.

SHITSUKA, R. **Xadrez e a Estratégia No Dia-a-dia**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

SICOOB, Crediara. **Ata Final de Julgamento**. Araxá: SICOOB, 2014.

SICOOB, Crediara. **Regulamento do Concurso**. Araxá: SICOOB, 2013.

SILVA, F. D.; OLIVEIRA, R. C.; SCALETSKY, C. **Entre a lógica e o imaginário: uma reflexão sobre a gráfica digital na concepção do projeto de arquitetura**. In: Lima, SIGRADI/2005, 490-493, 2005. Disponível em: http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2005_490.content.pdf. Acesso em 15 julho 2015.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. Cambridge: The MIT Press, 1996. Disponível em: http://courses.washington.edu/thesisd/documents/Kun_Herbert%20Simon_Sciences_of_the_Artificial.pdf. Acesso em 15 julho 2015.

SIMON, H. A. **The structure of ill-structured Problems**. Developments in Design Methodology. N. Cross (ed.), John Wiley & Sons, Inc., p. 146-166, 1984.

SNOWDEN, D. **A nova forma de ser simples**. HSM Management, v. 4, n. 39, São Paulo, 2003.

SPITLER, J. D. **Building Performance Simulation: The Now and the Not Yet**. HVAC&R Research 12: p. 549-551, 2006.

SZALAPAJ, P. **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**. Boston: Routledge, 2005.

TM CUSTOM RADAR. **Plug-in para a plataforma Office – EXCEL. TM Custom Radar v. 2.0**. Desenvolvedor: Tushar Mehta. Disponível em: http://www.tushar-mehta.com/excel/software/custom_radar/. Acesso em: 12 novembro 2016.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento Sistêmico – o novo paradigma da ciência**. 10. ed. Campinas: Papirus, 2013.

VINCKE, P. **L'aide Multicritère à la Decision**. Bruxelles: Ed. Ellipses, 1989.

VOLKER, L. **Deciding about Design Quality: Value judgements and decision making in the selection of architects by public clients under European tendering regulations**. Leiden – Holanda: Sidestone Press, 2010.

WASSOUF, M. **De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZAINAL, Z. **Case study research: Design and methods**. Journal Kemanusiaan, 2007. Disponível em: http://psyking.net/htmlobj-3837/case_study_as_a_research_method.pdf. Acesso em: 08 junho 2015.

ZAMBRANO, L. M. A.; BASTOS, L. E. G.; FERNANDEZ, P. **Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura**. In: NUTAU 2008 - 7º Seminário Internacional - Espaço Sustentável. Inovações em edifícios e cidades, São Paulo: NUTAU, 2008.