

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

ARCH E:

sistema de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura
com ênfase em eficiência energética

Eduardo Mattar Riemke

Pelotas, 2017

Eduardo Mattar Riemke

ARCH E:

sistema de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura
com ênfase em eficiência energética

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Arquitetura e
Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Antonio César Silveira Baptista da Silva

Co-Orientador: Prof. Anderson Priebe Ferrugem

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

R556a Riemke, Eduardo Mattar

Arch e : sistema de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura com ênfase em eficiência energética / Eduardo Mattar Riemke ; Antônio César Silveira Baptista da Silva, orientador ; Anderson Priebe Ferrugem, coorientador. — Pelotas, 2017.

114 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Arquitetura bioclimática. 2. Eficiência energética. 3. Sistema de apoio à decisão. 4. Projeto de arquitetura. I. Silva, Antônio César Silveira Baptista da, orient. II. Ferrugem, Anderson Priebe, coorient. III. Título.

CDD : 621.321

Eduardo Mattar Riemke

ARCH E: sistema de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura
com ênfase em eficiência energética

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 22 de setembro de 2017

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Antonio César Silveira Baptista da Silva (Orientador)
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

.....
Prof. Dr. Paulo Afonso Rheingantz
Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

.....
Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha
Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Fernando Simon Westphal
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, meus pais e irmã(o)s, a quem devo o que sou e com quem divido qualquer conquista.

À Alice, pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador, Professor Antonio César, pela dedicação e estímulo, por acreditar no meu trabalho e na minha capacidade de superar esse desafio.

Ao Rodrigo, responsável por materializar as ideias construídas ao longo desta etapa.

Ao Professor Anderson Ferrugem, co-orientador da pesquisa, ao Professor Eduardo Grala e ao Professor Paulo Afonso pelas contribuições ao longo da pesquisa.

Aos demais colegas de laboratório e de PROGRAU, pelo convívio e colaboração com este trabalho.

Cambia el viento,
Cambia la estación,
No siempre se encuentra una razón.

RESUMO

RIEMKE, E. **ARCH E: sistema de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura com ênfase em eficiência energética.** 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas, RS.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura integrada às primeiras etapas do processo, com o intuito de facilitar a apropriação do conhecimento construído por especialistas da área de eficiência energética por arquitetos projetistas. O sistema proposto é destinado a edificações residenciais localizadas na zona bioclimática 2. Inicialmente definiram-se as variáveis arquitetônicas com maior influência no desempenho termo-energético das edificações residenciais e, através de entrevistas a especialistas, atribuíram-se pesos às variáveis e notas às opções que poderiam assumir. A partir desses valores elaborou-se o banco de dados do programa, desenvolvido em linguagem *Python*. Através do programa é possível simular um conjunto de situações de projeto e visualizar em tempo real o desempenho previsto através de um gráfico. As variáveis foram divididas em níveis de complexidade, em aspectos relacionados: a) à forma e implantação; b) à envoltória; e c) aos ambientes internos. Foram escolhidas duas edificações residenciais com características distintas e desempenho termo-energético conhecido por simulação computacional para avaliar os resultados do programa proposto. A comparação dos resultados apontou pequenas variações entre os índices de conforto indicados pelas simulações e as notas atribuídas pelo programa, inferiores a 10% nos piores casos, sustentando a implementação da ferramenta de apoio.

Palavras chaves: arquitetura bioclimática, eficiência energética, sistema de apoio à decisão, projeto de arquitetura.

ABSTRACT

RIEMKE, E. **ARCH E: decision support system in architectural desing with emphasis on energy efficiency.** 2017. Dissertation (Master in Architecture) – Post-Graduate Program in Architecture and Urbanism, UFPel, Pelotas, RS.

The objective of this study is the development of a support decision system in architecture design integrated to the first stages of the process, in order to facilitate the appropriation of the knowledge constructed by specilists in energy efficiency by architects. The proposed tool is intended to be used for residencial buildings located in the bioclimatic zone 2. Initially, the architecture variables with major influence on energy performance of residencial buildings were defined, and through interviews with specialists its been assigned weights to variables and notes to the options they could assume. From these values, the database of the program was developed, in *Python* language. Throught the program it is possible to simulate a set of design situations and to visualize the predicted performance in real time throught a graph. The variables were divided into levels of complexity, in aspects related to: a) form and implantation; b) thermal envelope; and c) internal enviroments. Two residencial buildings with diferente chacacteristics and energy performance known throught computer simulation were chosen to evaluate the results of the proposed program. The comparison of the results showed small variations between the assigned scores and the comfort indexes indicated by the simulations, inferior to 10% in the wort scenarios, supporting the implementation of the support system.

Keywords: bioclimatic architecture, energy efficiency, decision support system, architectural design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Potencial de economia de energia e redução custos ao longo da vida útil do edifício	03
Figura 02: Classificação climática de Köppen para o território brasileiro	08
Figura 03: Carta solar para a cidade de Pelotas, RS	09
Figura 04: Diagrama de radiações solares incidentes em planos horizontais e verticais	10
Figura 05: Representação do processo de projeto	25
Figura 06: Aspecto e casos-tipo propostos por SERRA (1989)	30
Figura 07: Variáveis do parâmetro A do Diagrama Morfológico	32
Figura 08: <i>Layout</i> da ferramenta ProjetEEE	33
Figura 09: Fluxograma de um sistema especialista	36
Figura 10: Fluxograma do método proposto	40
Figura 11: Introdução dos formulários	44
Figura 12: <i>Notebooks</i> e <i>containers</i>	49
Figura 13: Gráfico de desempenho	51
Figura 14: Influência das variáveis no Nível 3	64
Figura 15: Influência das variáveis no Nível 4	65
Figura 16: Influência das variáveis no Nível 5	66
Figura 17: Opções mais influentes no Nível 3	67
Figura 18: Opções mais influentes no Nível 4	68
Figura 19: Opções mais influentes no Nível 5	68
Figura 20: Logo do sistema	70
Figura 21: Ícone do sistema	70

Figura 22: Arch E, Página inicial	71
Figura 23: Arch E, Nível 1 – Informações	72
Figura 24: Arch E, Caracterização do clima local	73
Figura 25: Arch E, Estratégias bioclimáticas para Pelotas, RS	74
Figura 26: Arch E, Nível 2 – Entorno imediato	75
Figura 27: Arch E, Nível 3 – Implantação, traçado e volumetria	76
Figura 28: Arch E, Nível 4 – Envoltória	77
Figura 29: Arch E, Nível 5 – Ambientes internos	78
Figura 30: Arch E, ambiente interno	79
Figura 31: Arch E - página final	80
Figura 32: Plantas baixa, do segundo e terceiro pavimento - Caso 1	82
Figura 33: Planta baixa da habitação de interesse social	85
Figura 34: Avaliação geral – simulação X ARCH E	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estratégias recomendadas e percentual mensal obtidos das normais climatológicas	14
Tabela 02: Estratégias recomendadas e percentual anual obtidas a partir dos dados monitorados por SILVA e GONÇALVES (2010)	15
Tabela 03: Pesos por nível: percentuais gerais e por especialista	69
Tabela 04: Avaliação do Caso 1	84
Tabela 05: Caso 1: simulação x ARCH E	84
Tabela 06: Avaliação do Caso 2	87
Tabela 07: Avaliação do Caso 2 – orientação norte-sul	87
Tabela 08: Caso 2: simulação x ARCH E	88
Tabela 09: Caso 2 – avaliação das variações	88
Tabela A.1: Dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais, latitude 30°S	99
Tabela A.2: Normais climatológicas, período 1971 / 2000	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Quadro resumo das estratégias e autores	16
Quadro 02: Variáveis arquitetônicas influentes no desempenho térmico, segundo SERRA	17
Quadro 03: Níveis, parâmetros e variáveis do Diagrama Morfológico	32
Quadro 04: Estruturação das variáveis	42
Quadro 05: Pontuações atribuídas a formação acadêmica dos especialistas	45
Quadro 06: Trecho do banco de dados	47
Quadro 07: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 1	54
Quadro 08: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 2	55
Quadro 09: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 3	56
Quadro 10: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 4	57
Quadro 11: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 5	58
Quadro 12: Síntese dos pesos e das notas atribuídos pelos especialistas	60
Quadro 13: Características do Caso 1	83
Quadro 14: Características do Caso 2	86
Quadro C.1: Banco de dados com as respostas dos nove especialistas entrevistados	105
Quadro C.2: Nomes dos parâmetros utilizados no código do programa e notas a serem obtidas	110
Quadro C.3: Equações utilizadas para o cálculo das notas	114

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	01
1.1.	Considerações iniciais	01
1.2.	Objetivos da pesquisa	04
1.2.1.	Objetivo geral	04
1.2.2.	Objetivos específicos	04
1.3.	Estrutura da Dissertação	04
2.	REVISÃO DA LITERATURA	06
2.1.	Eficiência Energética	06
2.1.1.	Clima	07
2.1.2.	Estratégias bioclimáticas	12
2.1.3.	Variáveis arquitetônicas e desempenho térmico	16
2.2.	O processo de projeto em arquitetura	22
2.2.1.	Metodologias de projeto	23
2.2.2.	Etapas de Projeto	26
2.2.3.	Ferramentas de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura	27
2.2.3.1.	Ferramentas voltadas para o desempenho energético	28
2.3.	Sistemas Especialistas	35
2.3.1.	Construção do conhecimento	50
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1.	Variáveis: definição e estruturação	41
3.2.	Formulários: elaboração, aplicação e análise de resultado	43
3.3.	Banco de dados	47
3.4.	Código do programa	48
3.4.1.	Criação de parâmetros, opções e interface gráfica	48
3.4.2.	Elaboração das regras	49
3.4.3.	Notas finais	50

3.4.4.	Gráfico de desempenho	51
3.5.	Avaliação dos resultados	52
4.	RESULTADOS	53
4.1.	Estrutura do programa	53
4.1.1.	Nível 1 – Informações	54
4.1.2.	Nível 2 – Entorno imediato	55
4.1.3.	Nível 3 – Implantação, traçado e volumetria	55
4.1.4.	Nível 4 – Envoltória	56
4.1.5.	Nível 5 – Ambientes internos	58
4.2.	Análise de resultado dos formulários	59
4.3.	Funcionamento do programa	70
4.4.	Avaliação dos resultados	81
4.4.1.	Caso 1 – Habitação de alto padrão	81
4.4.2.	Caso 2 – Habitação de interesse social	85
4.4.3.	Comparação dos resultados – simulação x ARCH E	88
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
	REFERÊNCIAS	92
	ANEXO A – Dados climáticos detalhados	98
	ANEXO B – Etapas de projeto, segundo a NBR 13532/1995 (ABNT, 1995)	101
	ANEXO C – Planilhas auxiliares	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

O surgimento dos primeiros edifícios tem íntima relação com a busca por abrigo. Ao construir as primeiras estruturas para proteção ao frio, ao calor, à chuva e ao vento, buscou-se criar, artificialmente, um ambiente que amenizasse condições climáticas desfavoráveis. Durante toda a história da humanidade foi, então, papel da arquitetura e dos arquitetos prover conforto aos usuários.

As transformações sociais, econômicas e técnicas ocorridas a partir da Revolução Industrial e acentuadas após a Segunda Guerra Mundial, no entanto, criaram um cenário propício para a alteração deste quadro. A expansão da indústria do aço e do vidro e o desenvolvimento do concreto armado ampliaram possibilidades de desenho e funcionalidade na arquitetura. Novas tecnologias, sustentadas pela abundância de combustível, permitiram a supressão de uma série de atribuições dos arquitetos, como promover, através de um projeto eficiente, boas condições lumínicas, térmicas e acústicas. Os avanços tecnológicos subsequentes, em especial no desenvolvimento de sistemas de condicionamento de ar, e a ideia da produção em massa de edifícios permitiram que o ambiente climático deixasse, por fim, de ser um condicionante de projeto, desvinculando clima e arquitetura.

Estima-se, hoje, que os edifícios consomem mais de 50% da energia produzida no planeta (IEA, 2015). Apesar de possuir uma matriz energética limpa se comparada ao resto do mundo, a participação das energias renováveis no Brasil caiu de 84,5% em 2012 para 81,7% em 2016, indicando um aumento significativo nas emissões de dióxido de carbono na atmosfera, que chegou a 485,2 milhões de toneladas. Ainda em 2016, mesmo diante da queda no consumo geral de energia elétrica no país o consumo final no setor residencial, registrou um aumento de 1,4%, sendo responsável pelo consumo de 21,4% da energia elétrica produzida (EPE, 2017).

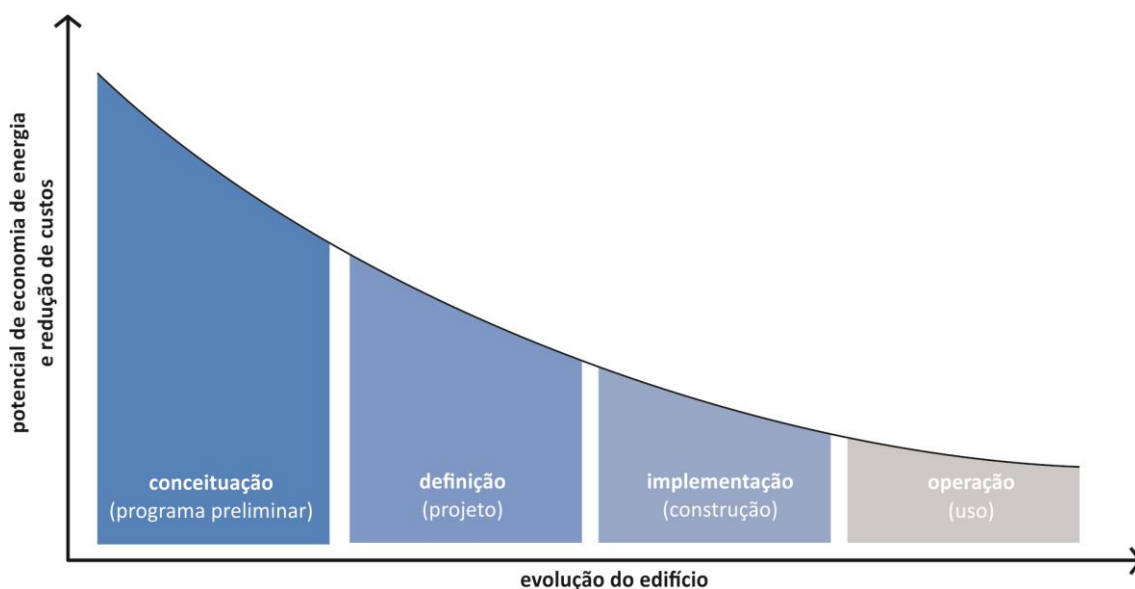
Estes dados, apesar de preocupantes, indicam o potencial de economia de energia no setor residencial, em especial em áreas de grande oscilação térmica como o sul do país, onde os condicionadores de ar representam 32% do uso final de energia elétrica nas residências (PROCEL, 2009). A retomada dos preceitos bioclimáticos na arquitetura e a busca por eficiência na construção representam, hoje, uma importante ferramenta para a redução no consumo de energia e, conseqüentemente, no impacto ambiental gerado pelas edificações.

Apesar do desenvolvimento de ferramentas computacionais de auxílio à redução do consumo energético nas edificações, pela complexidade dos fenômenos físicos envolvidos o uso destas ferramentas ainda é restrito a centros de pesquisas de universidades e institutos (MENDES et al., 2005). Isso significa que a tecnologia e o conhecimento construídos na área ainda estão pouco disponíveis para os escritórios e ateliês de projeto de arquitetura. MOURSHED et al. (2003) apontam, ainda, que estas ferramentas geralmente são empregadas por engenheiros civis na fase de detalhamento do projeto e pouco se aplicam à fase de concepção.

Se por um lado estes estudos alertam para a ausência de ferramentas de apoio nas primeiras etapas do projeto, POTTS (2008) aponta que estudos realizados nestes primeiros estágios são mais efetivos do que aqueles conduzidos nas etapas finais, considerando o potencial de economia de energia e redução de custos, como pode ser visto na Figura 1. Isto ocorre porque as possibilidades de alterações reduzem enquanto o projeto progride, e o custo destas alterações

aumenta. Isto aponta para a importância da introdução de medidas relacionadas à eficiência energética já nas primeiras etapas de projeto.

Figura 1: Potencial de economia de energia e redução de custos ao longo da vida útil do edifício.



Fonte: Autor, adaptado de POTTS (2008).

Diante do exposto, este estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura que se integre às etapas de concepção do objeto arquitetônico, desde a elaboração do partido, visando disponibilizar o conhecimento construído nos laboratórios e centros de pesquisa aos arquitetos projetistas atuantes no mercado da construção civil.

Cabe ressaltar que, por ser uma ideia ou intenção que sugere a realização do projeto de determinado modo (BISELLI, 2014), o partido arquitetônico é uma informação abstrata e, portanto, não é necessariamente representado por modelos físicos, o que inviabiliza simulações computacionais aprofundadas.

Como recorte da pesquisa, este estudo se propõe a desenvolver uma ferramenta destinada à elaboração de projetos de edificações de uso residencial, localizadas na Zona Bioclimática 2, na qual se encontra a cidade de Pelotas, RS. A estrutura do programa permite, no entanto, que a utilização seja expandida a outros usos e climas, a partir de futuros estudos.

1.2. Objetivos da pesquisa

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver, através de um sistema computacional baseado na experiência de especialistas, uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura que se integre às primeiras etapas do processo, com o intuito de avaliar decisões no âmbito do desempenho termo-energético de edificações residenciais.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Identificar o peso e as relações entre as variáveis arquitetônicas no desempenho termo-energético do edifício, através do estudo de referenciais teóricos e entrevistas à especialistas;
- b) Identificar, durante o processo de tomada de decisões, conjuntos de soluções que maximizem o desempenho termo-energético do edifício;
- c) Facilitar a apropriação do conhecimento teórico sobre eficiência energética produzido nos institutos e centros de pesquisa por profissionais de projeto de arquitetura atuantes na construção civil, reforçando a importância da implementação de ferramentas de auxílio à redução do consumo de energia nos escritórios e ateliês de arquitetura.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é apresentada em 5 capítulos. O primeiro introduziu o tema e a justificativa da pesquisa, delimitando sua abrangência no âmbito do problema proposto. Foram definidos, também, os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo são abordados os referenciais teóricos relevantes ao desenvolvimento do estudo, divididos em três tópicos: o primeiro faz referência à eficiência energética e à influência climática nas edificações, o segundo à

metodologia de projeto em arquitetura e à inserção da ferramenta no processo e o terceiro ao desenvolvimento e aplicação de sistemas especialistas.

O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos adotados na pesquisa, como forma de atingir os objetivos estabelecidos. O quarto capítulo apresenta a ferramenta desenvolvida e os resultados obtidos. No Capítulo 5 são feitas as considerações finais, apontando as limitações da pesquisa e sugestões para continuação dos trabalhos. Ao fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo da pesquisa e anexos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Eficiência Energética

No Brasil, o setor residencial foi responsável pelo consumo de 21,4% dos 520 TWh produzidos no Brasil em 2016 (EPE, 2017). Segundo o Relatório da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (PROCEL, 2009), os principais responsáveis pelo consumo final de energia no setor residencial são chuveiro (24%), geladeira (22%) e condicionadores de ar (20%). Se analisarmos os dados por região, o consumo dos condicionadores de ar chega a 32% na região Sul e a 40% na região Norte, sendo os principais usos finais e evidenciando que climas mais rigorosos representam maior consumo e, por consequência, maior potencial de economia.

Pode-se aferir, então, que o aumento progressivo no consumo de energia elétrica nas edificações se deve, em parte, ao aumento na demanda por conforto térmico. Se por um lado a eficiência dos equipamentos de condicionamento de ar vêm aumentando, a redução do custo de aquisição proporciona que um número cada vez maior de pessoas tenha acesso a eles. Segundo GHISI et al. (2009), o número médio de aparelhos de ar condicionado por residência no Brasil passou de 0,07 para 0,19 entre 1998 e 2005.

Neste sentido, edificações que não são capazes de suprir, por si, os requisitos mínimos de conforto térmico e lumínico dos usuários significam, conseqüentemente, um maior consumo de energia. Daí a importância de introduzir o conceito da eficiência energética em toda a cadeia da construção civil, desde a elaboração de projetos mais consistentes até a produção de materiais e sistemas eficientes.

Como observado anteriormente, quanto mais cedo são tomadas decisões, maior o potencial de redução do consumo de energia. A concepção do projeto arquitetônico aparece, então, como uma das principais ferramentas na busca pela eficiência energética nas edificações. Exemplos de dentro e fora do país, como a *Passive House* e diversas outras correntes de baixo consumo de energia, indicam que é possível reduzir o uso do ar condicionado ao mínimo, inclusive em regiões de clima extremos.

2.1.1. Clima

O clima é um fator determinante no consumo final de energia. Quanto mais críticas as condições climáticas, maior o esforço para se obter conforto térmico.

Conforto térmico é definido como o estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2004). Este conceito indica que estão envolvidos, além das condições térmicas do ambiente, fatores fisiológicos e psicológicos dos usuários.

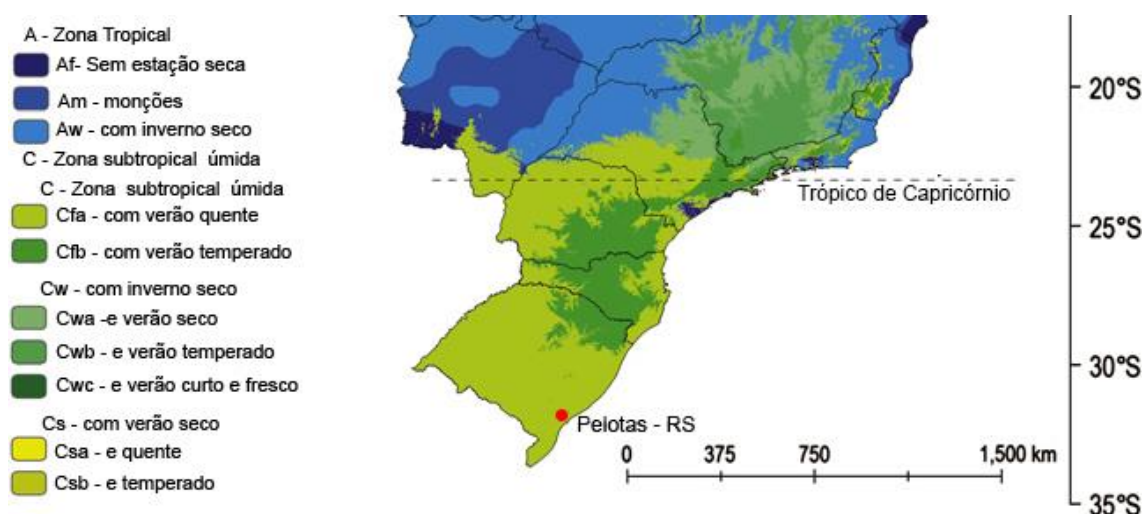
A satisfação com o ambiente térmico acontece quando as trocas de temperatura entre o corpo e o meio externo estão equilibradas. Assim, a principal função de uma edificação é abrandar as condições climáticas, criando um ambiente termicamente agradável aos usuários, filtrando condições extremas de frio e calor.

A caracterização do ambiente climático é o primeiro passo para a implementação de uma edificação eficiente. Neste sentido existem esforços para identificar regiões climáticas semelhantes, através da classificação dos elementos climáticos (temperatura do ar, umidade atmosférica, radiação solar, precipitação e ventos).

A primeira tentativa de classificação climática regional do planeta foi proposta por Köppen, em 1899. Ela ainda é amplamente utilizada como base em estudos de climatologia, meteorologia, geografia, agrometeorologia e bioclimatologia, e vem sendo constantemente atualizada, segundo os critérios originais, a partir de um grande conjunto de dados globais de estações de medição de temperatura e precipitação (PEEL et al., 2007).

ALVARES et al. (2013) apontam que no Brasil existe a incidência de três zonas climáticas: clima tropical (zona A), que preenche 81,4% do território nacional; clima semi-árido (zona B), restrita à região nordeste do país; e clima subtropical (zona C), que preenche exclusivamente a região sul e cobre 13,7% do território brasileiro. Pelotas está situada na latitude 31°46'19"S e na longitude 52°20'34"W, 13 metros acima do nível do mar. Como pode ser observado na Figura 2, localiza-se em uma região de clima subtropical úmido, pela proximidade do oceano, com verão quente (Cfa). É característica destas regiões grande oscilação térmica ao longo do ano, em grande parte devido à variação do tempo e da intensidade de incidência da radiação solar durante as estações do ano. Além de Pelotas, há incidência deste mesmo tipo climático no Uruguai, leste da Argentina, sudeste dos Estados Unidos, leste da Austrália, sudoeste da China e sul do Japão.

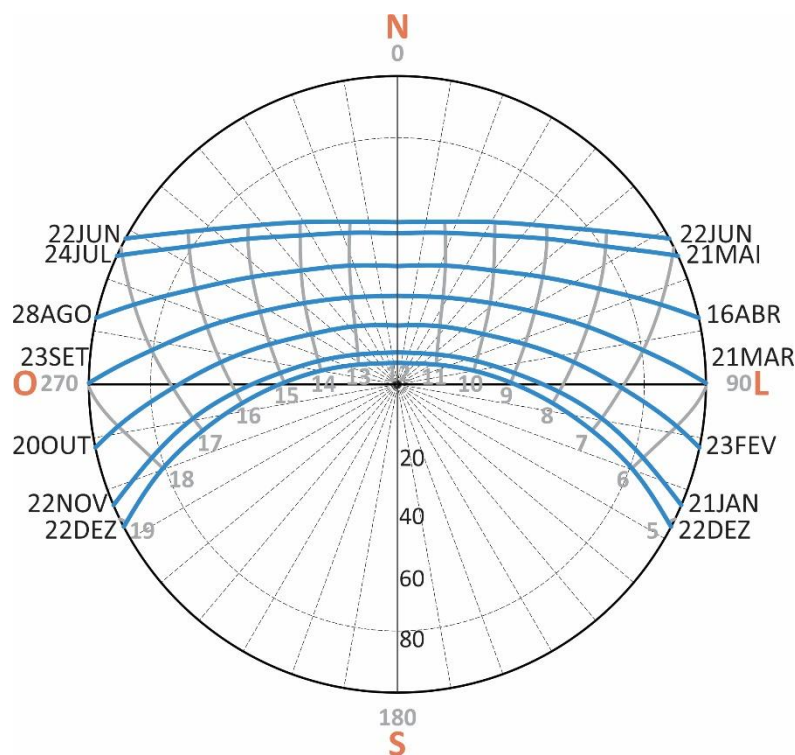
Figura 2 - Classificação climática de Köppen para o território brasileiro.



Fonte: Autor, adaptado de ALVARES et al., 2013.

Na Figura 3 é possível observar a carta solar de Pelotas, gerada pelo *software* Analysis SOL-AR (LABEEE, 2009). As cartas solares consistem na representação gráfica da trajetória aparente do sol projetada no plano do horizonte do observador para determinada latitude, e indicam o ângulo de incidência do sol sobre uma superfície específica. Nota-se que no solstício de verão a incidência de radiação solar chega a 14 horas por dia, das 5 às 19 horas. Os raios solares incidem com grande intensidade e a duração dos dias é consideravelmente maior que a das noites. No solstício de inverno ocorre o oposto, são 10 horas de exposição, das 7 às 17 horas, as temperaturas caem e acontecem intensas e sucessivas invasões de frentes polares, com precipitação abundante.

Figura 3 - Carta solar para a cidade de Pelotas, RS.

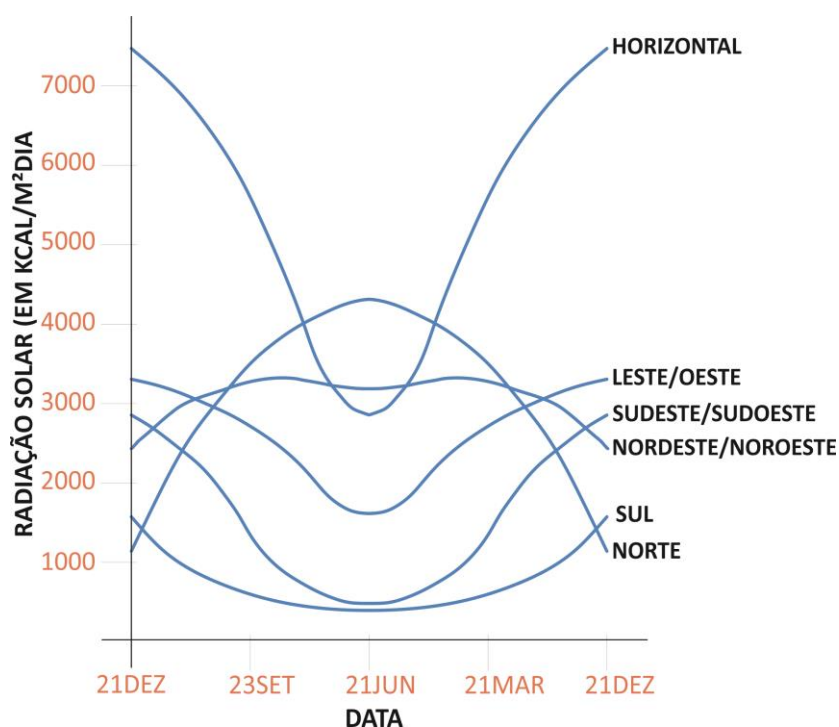


Fonte: Autor, adaptado de LABCEEE, 2009.

A Figura 4 apresenta o diagrama de radiações solares em planos verticais e horizontais ao longo do ano para Pelotas. Pode-se observar que o plano vertical norte recebe intensa quantidade de radiação solar durante o solstício de inverno,

e baixa incidência durante o solstício de verão, mostrando clara vantagem sobre as demais orientações. Todas as outras orientações apresentam maior radiação durante os períodos mais quentes do ano, exceto as orientações nordeste e noroeste, que apresentam equilíbrio nos valores.

Figura 4 - Diagrama de radiações solares incidentes em planos horizontais e verticais.



Fonte: Autor, adaptado de POUEY, 2011.

Dados climáticos detalhados da radiação solar incidente em planos horizontais e verticais e das normais climatológicas da cidade de Pelotas podem ser consultados no Anexo A.

Para fins de edificações residenciais, foi proposto, através da NBR 15220 – Parte 3, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Este zoneamento adotou como base conceitual estudos que relacionam as graduações de conforto e desconforto com os parâmetros físicos de estímulo (LAMBERTS, 1994), como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Com base nestes índices, foram estabelecidas zonas de conforto térmico delimitadas graficamente em cartas e diagramas, limitando as condições físicas do ambiente sob as quais se

estabelecem estas zonas e estabelecendo estratégias para as situações onde o conforto não é alcançado.

Os primeiros estudos envolvendo conforto térmico estavam relacionados às condições ambientais em fábricas e minas, vinculados à produtividade dos trabalhadores, já no início do século passado. Em 1923, Yaglow e Houghten desenvolveram, nos Estados Unidos, um estudo amplamente conhecido até hoje. Neste estudo foi elaborado o conceito de Temperatura Efetiva (TE), que considera a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a velocidade do ar, relacionando estas variáveis à sensação térmica.

Para avaliação do conforto térmico em ambientes construídos, Fanger desenvolveu, em 1970, um critério denominado Voto Médio Estimado (PMV – *predicted mean vote*). Este estudo, realizado na Dinamarca em câmaras climatizadas, desenvolveu análises estatísticas para determinar o grau de conforto e desconforto em uma escala de -3 (muito frio) à +3 (muito quente), sendo 0 a sensação de conforto, para um grande número de pessoas.

Posteriormente, a norma ISO 7730 (1984) adotou as pesquisas de Fanger, limitando a 10% o número de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, o que corresponde a uma faixa do PMV de -0,5 a +0,5. Em sua última revisão, a norma passou a considerar três categorias de ambientes e tolerar um percentual de insatisfeitos de até 15%, com o PMV variando de -0,7 a +0,7.

Outro modelo amplamente utilizado para análise dos índices de conforto térmico são as cartas bioclimáticas. Nelas se associam três tipos de informação: o comportamento climático do ambiente, as estratégias indicadas para a correção desse comportamento através do desempenho da edificação e a zona de conforto térmico (LAMBERTS, 1994). As zonas de conforto e as zonas que exigem algum tipo de correção são geralmente delimitadas graficamente sobre uma carta psicrométrica.

A primeira carta bioclimática foi concebida por OLGAY (1963), e era empregada somente para o ambiente exterior, associando dados climáticos à sensação de conforto. Corrigindo algumas limitações do diagrama proposto por Olgyay, GIVONI (1969) concebeu uma carta bioclimática para ambientes internos, delimitando as zonas de atuação e as estratégias para obtenção de conforto.

A limitação dos modelos estáticos de avaliação do conforto térmico impulsionou estudos mais abrangentes, que passaram a considerar também a capacidade de adaptação do ser humano às condições ambientais desfavoráveis. Estes novos modelos, denominados adaptativos, levam em conta, além das condições do ambiente interno, as condições do ambiente externo, o contexto econômico, cultural e social, adaptações psicológicas e a expectativa térmica do usuário.

Através de estudos realizados na cidade mexicana de Colima, GIVONI (1992) comprova que mesmo em meses que estariam fora da zona de conforto estabelecida pela ASHRAE, o relato dos habitantes acusava que havia sensação de conforto nas primeiras horas da manhã e nas últimas horas da tarde, demonstrando sua aclimação às condições locais.

2.1.2. Estratégias bioclimáticas

O termo *bioclimático* foi utilizado pela primeira vez na arquitetura por OLGAY (1963), reconhecendo a resposta do homem (*bios*, do grego βίος, que significa *vida*), autor e usuário da arquitetura, ao clima, ambos produzindo conjuntamente a expressão arquitetônica.

Segundo SERRA (1989), a arquitetura bioclimática é aquela que aproveita o sol de inverno e rejeita o de verão, que utiliza os benefícios da ventilação para combater a umidade e para evacuar o ar quente indesejado, que emprega o isolamento para reduzir as trocas térmicas com o exterior e, especialmente, as perdas de calor em tempos frios. Se adapta às características do entorno, relevo e vegetação, sem deixar de aproveitar as vantagens da luz natural, da proteção ao sol de verão e da visão da paisagem.

Neste sentido, estratégias bioclimáticas são diretrizes projetuais que, se empregadas desde as primeiras decisões do processo de projeto, visam o conforto térmico dos usuários e o baixo consumo energético na edificação, através da aplicação correta dos elementos de projeto e de tecnologia para controle dos processos de transferência de calor (GOULART e PITTA, 1994).

Para a elaboração de um modelo de projeto arquitetônico residencial unifamiliar para a Zona Bioclimática 2, POUEY (2011) analisou as recomendações de três

referencias reconhecidas para o clima de Pelotas, RS: as Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al., 1973), a Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) e a Parte 3 da NBR 15220 – Desempenho térmico para edificações de interesse social (ABNT, 2005), definindo as principais estratégias de projeto recomendadas para as características climáticas em questão.

As Planilhas de Mahoney foram elaboradas com base em um sistema de ponderação que avalia a importância relativa das exigências antagônicas de climas compostos, levando em conta a duração e a intensidade dos fatores climáticos envolvidos. Nelas, os limites desejáveis de temperatura são distintos para o dia e para a noite, e dependem das médias mensais da umidade relativa e da média anual da temperatura exterior.

Ainda na década de 1980, o professor Pedro Prietto, inspirado nos estudos de Lúcia Mascaró, realizou as primeiras adaptações dos quadros de Mahoney para a cidade de Pelotas. Mais recentemente, com a aplicação das normais climatológicas do período de 1971-2000, que podem ser observadas no Anexo A, nas Planilhas de Mahoney, POUEY (2011) indica as especificações de desempenho ou recomendações para a síntese de uma solução formal para o projeto arquitetônico, agrupadas em oito categorias:

- a) **Traçado:** edifícios orientados sobre eixo leste-oeste para reduzir a exposição ao sol das fachadas leste e principalmente oeste;
- b) **Espaçamento:** espaço aberto para a penetração da brisa, porém protegido de ventos quentes ou frios;
- c) **Movimento do ar:** quartos em fileira única. Dispositivo permanente para o movimento do ar (ventilação cruzada);
- d) **Aberturas:** quanto ao tamanho, aberturas medianas com 20% a 40% da superfície da parede; quanto à posição, aberturas nas paredes norte e sul, aberturas na parede leste são desejáveis e na parede oeste são aceitáveis em climas frios ou moderados;
- e) **Paredes:** paredes externas leves com baixa capacidade térmica; tempo curto de transmissão térmica;
- f) **Coberturas:** coberturas leves e bem isoladas, com baixa capacidade térmica;

- g) **Dormir ao ar livre:** não há recomendação para Pelotas;
- h) **Proteção contra a chuva:** não há recomendação para Pelotas.

A Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) é construída sobre uma carta psicrométrica, que relaciona a temperatura e a umidade relativa do ar, e especifica a zona de conforto térmico e zonas que exigem algum tipo de correção por parte da edificação para obtenção do conforto.

POUEY (2011) gerou, através do *software Analysis BIO* (LABEEE, 2009), a carta bioclimática de Givoni para Pelotas, com base nos dados climáticos mensais da cidade obtidos a partir das normais climatológicas do período de 1971-2000. Posteriormente, utilizou os dados climáticos horários externos de temperatura do ar e umidade relativa monitorados por SILVA e GONÇALVES (2008) e SILVA e GONÇALVES (2010) durante o ano de 2007 em Pelotas, como complemento às estratégias baseadas nas médias mensais. Como resultado, destaca as estratégias de projeto para a adequação da edificação ao clima em cada mês e apresenta um relatório com a percentagem de horas do ano em que cada estratégia é mais adequada, bem como a percentagem de horas de conforto, apresentado na Tabela 1. Os resultados referentes ao ano todo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Estratégias recomendadas e percentual mensal obtidos das normais climatológicas.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONFORTO TÉRMICO (%)	74,3	56,2	63,2	60	22,2	-	-	-	12,5	44,5	66,7	72,5
ESTRATATÉGIAS (%)												
Ventilação	11,2	31,3	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquecimento Solar Passivo / Alta Inércia Térmica	11,1	12,5	33,3	40	44,5	33,3	33,3	44,5	50	44,4	33,3	27,5
Aquecimento Solar Passivo	-	-	-	-	33,3	38,9	38,9	38,9	37,5	11,1	-	-
Ventilação / Alta Inércia / Resfriamento Evaporativo	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquecimento Artificial	-	-	-	-	-	27,8	27,8	16,7	-	-	-	-

Fonte: POUEY, 2011.

Tabela 2 - Estratégias recomendadas e percentual anual obtidas a partir dos dados monitorados por SILVA e GONÇALVES (2010).

ESTRATÉGIAS POR ZONA	PERCENTUAL (%)
CONFORTO TÉRMICO	29,60
Ventilação	16,30
Ventilação / Alta inércia térmica / Resfriamento evaporativo	3,73
Aquecimento Solar / Alta Inércia Térmica	12,1
Aquecimento Solar Passivo	12,5
Resfriamento Evaporativo	0,2
Aquecimento Artificial	23,8
Ar condicionado	1,77
Sombreamento	44,9

Fonte: POUEY, 2011.

A NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações de interesse social (ABNT, 2005) apresenta em sua parte 3 o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares em cada região. Pelotas situa-se na Zona Bioclimática 2, bem como boa parte do extremo sul do Brasil. As recomendações técnico-construtivas indicadas pela norma para a Zona Bioclimática 2 são:

- a) **Aberturas:** aberturas médias, entre 15% e 25% da área do piso, com sombreamento que permita o sol durante o inverno;
- b) **Paredes:** leves ($U \leq 3,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $\phi \leq 4,3$ horas; $\text{FSO} \leq 5,0$);
- c) **Cobertura:** leve e isolada ($U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $\phi \leq 3,3$ horas; $\text{FSO} \leq 6,5$);
- d) **Ventilação cruzada** durante o verão;
- e) **Aquecimento solar** no inverno;
- f) **Vedações internas pesadas** durante o inverno.

O Quadro 1 apresenta um quadro-resumo das estratégias indicadas pelos referenciais estudados.

Quadro 1 – Quadro resumo das estratégias e autores.

MAHONEY	GIVONI	15220	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS
			Paredes externas leves, com baixa capacidade térmica
			Paredes internas pesadas, com alta inércia térmica
			Coberturas leves e isoladas
			Aberturas médias (de 15% a 40% da área do piso), sombreadas durante o verão
			Ventilação cruzada
			Aquecimento solar passivo no inverno
			Maiores fachadas para norte e sul

Fonte: POUEY, 2011.

POUEY (2011) aponta que nas fontes analisadas não existem recomendações quanto a variação no tamanho das aberturas para diferentes orientações, nem quanto à transmitância térmica destas. Aberturas orientadas para norte, sombreadas durante o verão e com baixa transmitância térmica poderiam ser maiores, aumentando os ganhos solar no inverno. Quanto à distribuição dos compartimentos em planta, deve-se orientar os ambientes de permanência prolongada preferencialmente para o norte.

2.1.3. Variáveis arquitetônicas e desempenho térmico

SERRA (1989) aponta que as variáveis que afetam o desempenho termo-energético de um edifício podem ser divididas em dois grupos: aquelas que influenciam o microclima que rodeia o edifício e aquelas que influenciam diretamente o ambiente interior. No primeiro grupo estão fatores como a localização do edifício, que nem sempre é uma decisão do projetista, e a correção do entorno, que representam aqueles elementos relacionados aos fatores microclimáticos sobre os quais o projetista pode atuar. O segundo grupo compreende as decisões que afetam diretamente o ambiente interior, como a forma geral do edifício, o tratamento da envoltória e as características do interior.

A seguir, no Quadro 2, são apresentados os aspectos da edificação incluídos nos grupos propostos por SERRA (1989), que, segundo o autor, apresentam influência no desempenho termo-energético das edificações.

Quadro 2: Variáveis arquitetônicas influentes no desempenho térmico, segundo SERRA.

1	LOCALIZAÇÃO
1.1	Topografia (inclinação e altura relativa)
1.2	Orientação do lote
1.3	Forma urbana (tipo, densidade e altura relativa)
1.4	Relação com a água e com a vegetação
1.5	Barreiras sólidas (proporção por orientação)
1.6	Orientação predominante da água
1.7	Obstrução vegetal (proporção por orientação)
1.8	Tipo de terreno
1.9	Direção e continuidade da trama urbana
1.10	Seção das vias
2	MODIFICAÇÃO DO ENTORNO
2.1	Criação ou supressão de barreiras
2.2	Relação com a água e com a vegetação (criação ou supressão)
2.3	Barreiras sólidas (proporção por orientação)
2.4	Orientação predominante da água
2.5	Obstrução vegetal (proporção por orientação)
2.6	Tipo de vegetação
3	FORMA GERAL
3.1	Compacidade
3.2	Porosidade
3.3	Esbeltez
3.4	Orientação dos pátios existentes
3.5	Tipo de forma geral
3.6	Tipo de seção
4	ENVOLTÓRIA
4.1	Assentamento em relação ao terreno
4.2	Contato com edificações vizinhas
4.3	Transparência (difusão e variabilidade)
4.4	Perfuração (variabilidade e hermeticidade)
4.5	Isolamento
4.6	Lisura
4.7	Inércia térmica
4.8	Sombreamento
4.9	Ventilação
5	INTERIOR
5.1	Compartimentação vertical
5.2	Compartimentação horizontal
5.3	Conexão vertical
5.4	Conexão horizontal
5.5	Cor
5.6	Tipo de distribuição

Fonte: SERRA (1989).

A partir destas informações, buscou-se estudos que indicassem, dentre estas e outras variáveis, quais são aquelas que apresentam maior influência no desempenho termo-energético das edificações. Estes estudos serviram como base para a definição das variáveis abordadas pelo programa e para a elaboração dos formulários de entrevista aos especialistas, apresentados no Capítulo 3. Os resultados da pesquisa com os especialistas foram, também, confrontados com os estudos apresentados a seguir.

SILVA e GHISI (2013), através do estudo de caso de uma habitação unifamiliar em Florianópolis, SC, analisam a sensibilidade global dos parâmetros termo-físicos considerados no RTQ-R, relacionados às propriedades térmicas do envelope, às propriedades das aberturas e ao contato das superfícies com o exterior. Os 15 parâmetros considerados foram:

- a) Transmitância térmica da cobertura;
- b) Capacidade térmica da cobertura;
- c) Absortância solar da cobertura;
- d) Emissividade a ondas longas da cobertura;
- e) Transmitância térmica das paredes externas;
- f) Capacidade térmica das paredes externas;
- g) Transmitância térmica das paredes internas;
- h) Capacidade térmica das paredes internas;
- i) Absortância solar das paredes internas;
- j) Contato da cobertura com o exterior;
- k) Fator de ventilação das aberturas;
- l) Orientação solar;
- m) Transmitância térmica dos vidros.

Os autores apontam que, para o resfriamento do edifício, as variáveis mais influentes foram a absortância solar e transmitância térmica da cobertura, o contato da cobertura com o exterior e a absortância, transmitância e capacidade térmica das paredes. O piso também foi influente, apresentando melhor desempenho quando em contato com o solo, inclusive quando desconsideradas as trocas térmicas pelo piso.

Para o consumo relativo com aquecimento, as variáveis mais significativas foram a emissividade da cobertura, a transmitância térmica das paredes externas e a transmitância térmica da cobertura, além do contato desta com o exterior. Também foram influentes a capacidade térmica das paredes externas e da cobertura e o contato do piso com o solo. Valores relativos ao fator de ventilação, à orientação solar e às propriedades dos vidros e das paredes internas foram menos influentes que os demais.

Van der Knaap (2011) analisou a sensibilidade global dos parâmetros utilizados no RTQ-R pelo método prescritivo e por simulação computacional, com o objetivo de comparar a diferença entre esses métodos. Ambos apontaram a absorptância solar da cobertura como muito influente, mas foi constatado que o método simplificado apresenta alta influência da capacidade térmica do envelope, enquanto a simulação apresenta outros parâmetros mais influentes, como o contato com o solo, o percentual de aberturas e a transmitância das paredes. Verificou-se, também, que o método simplificado subestima a eficiência da ventilação natural.

YILDIZ e ARSAN (2011) analisaram parâmetros de uma edificação residencial multifamiliar em Izmir, na Turquia, que influenciam nas cargas de aquecimento e refrigeração, relativos à forma do edifício, à área de janela, à cor do envelope, ao *set point* de temperatura para aquecimento e resfriamento, às propriedades dos materiais, à ventilação natural e à infiltração de ar. A partir destes parâmetros principais derivaram-se 30 parâmetros secundários, apresentados a seguir:

- a) Largura do edifício;
- b) Comprimento do edifício;
- c) Altura dos compartimentos;
- d) *Set point* de temperatura de aquecimento e resfriamento;
- e) Taxa de infiltração de ar;
- f) Taxa de ventilação natural;
- g) Área de janelas para Norte, Sul, Leste e Oeste;
- h) Transmitância térmica e fator solar das janelas para Norte, Sul, Leste e Oeste;
- i) Transmitância térmica do isolamento externo das paredes;

- j) Transmitância térmica do isolamento externo do piso;
- k) Transmitância térmica do isolamento externo do telhado;
- l) Calor específico das paredes externas;
- m) Espessura do isolamento térmico das paredes externas para Norte, Sul, Leste e Oeste;
- n) Espessura do isolamento térmico da cobertura;
- o) Espessura do isolamento térmico do piso;
- p) Cor das paredes externas para Norte, Sul, Leste e Oeste;
- q) Cor do telhado.

O programa utilizado para análise foi o *EnergyPlus*. Os parâmetros foram variados e relacionados às propriedades térmicas dos materiais, ao comportamento do usuário e à arquitetura dos ambientes. Entre as conclusões, apontam que a ordem dos parâmetros mais influentes não variou entre os pavimentos (térreo, tipo e cobertura). A orientação solar está entre os fatores mais influentes, e os autores indicam que projetistas devem desenvolver soluções diferentes para orientações diferentes. A infiltração de ar e as variações de temperatura de *set point* do sistema de condicionamento de ar foram influentes tanto na redução de energia para aquecimento quanto para resfriamento. As propriedades térmicas dos vidros e das aberturas foram pontos-chaves, e as áreas destas devem ser determinadas de acordo com a orientação solar. A relação entre largura e profundidade da edificação também foi determinante no consumo de energia.

HOPFE e HENSEN (2011) analisaram a incerteza de parâmetros relacionados ao desempenho energético de edificações visando o auxílio no processo de projeto. Os autores buscaram determinar quais parâmetros apresentam as incertezas mais influentes no consumo de energia com aquecimento e refrigeração, no clima da Holanda. Os parâmetros físicos mais influentes foram as taxas de infiltração de ar, a condutividade térmica do piso e a espessura da cobertura.

Como visto, grande parte dos estudos apresentados são fruto de simulações computacionais. Métodos, estes, na maioria das vezes inacessíveis aos projetistas. Levando-se em conta que o projeto de arquitetura deve contemplar

não só questões relacionadas ao conforto térmico, e que as outras áreas englobadas na atividade projetual apresentam uma profundidade de conhecimento igualmente significativa, fica explícita a complexidade do ato projetivo. Faz-se necessário, então, uma maior compreensão do processo de projeto e da implementação de ferramentas e sistemas de apoio à tomada de decisão.

2.2. O processo de projeto em arquitetura

A arquitetura é uma atividade humana com características de multidisciplinaridade que agrega conhecimentos das ciências exatas (matemática, física), humanas (sociologia, política econômica, antropologia, filosofia) e da arte (AMARAL, 2007). Tem-se, portanto a associação de procedimentos científicos cartesianos, lineares e objetivos, e procedimentos intuitivos, com base na subjetividade psicológica do arquiteto e dos usuários.

Segundo JONES (1992), projetar é uma atividade híbrida que depende de uma relação adequada entre arte, ciência e matemática. Indica que não há uma convergência entre autores sobre a definição do termo (JONES, 1992; BUCHANAN, 1992), mas que se pode afirmar que sua consequência é iniciar uma mudança nas coisas feitas pelo homem, e que projetistas devem ser capazes de prever os resultados de suas propostas, bem como de especificar o curso de ações necessárias para realizar tais resultados.

MAHFUZ (1995) aponta que o processo de projeto decorre da análise de informações relativas à quatro imperativos: as necessidades pragmáticas, a herança cultural, as características climáticas e do sítio e os recursos materiais disponíveis. A interpretação e hierarquização destas informações preliminares implicam uma mudança de uma atitude analítica e objetiva para uma atitude de seletividade subjetiva, na qual a própria personalidade e bagagem cultural do arquiteto desempenham um papel central.

HARTFIELD (2006) reforça esta ideia quando afirma que não existem cinquenta soluções para um mesmo problema de projeto, mas cinquenta soluções para cinquenta problemas diferentes. Aponta que o arquiteto não reage de forma imparcial na formulação do problema, mas aborda-o com suas próprias preferências, necessidades, crenças, conhecimentos, habilidades e entendimentos. Estes atributos pessoais vão além da preferência por certos tipos de formas visuais, materiais e técnicas, mas são um modo característico de ver possibilidades através de posicionamentos conceituais (BUCHANAN, 1992), e são determinantes para o estabelecimento de parâmetros para as possíveis soluções.

Neste sentido, a natureza dos problemas de projeto é consideravelmente diferente dos problemas científicos convencionais, especialmente por envolverem conhecimentos e informações que não são mencionados nas informações iniciais do projeto (LAWSON, 2004).

Se atualmente as próprias ciências da natureza já tem dificuldade em lidar com a rigidez do método científico tradicional, a questão se amplia determinantemente ao tratarmos de uma possível transposição desses métodos às ciências sociais, como a arquitetura. Assim, o método cartesiano é substituído por um modelo mais orgânico, interdependente e interdeterminante das diferentes etapas do processo (QUINTANILHA, 2013).

2.2.1. Metodologias de projeto

A crescente complexidade da sociedade contemporânea e a existência de problemas relacionados à concepção e planejamento do artificial (BUCHANAN, 1992) apontam para o fracasso dos métodos tradicionais de projeto em resolver os problemas contemporâneos (JONES, 1992).

Assumindo-se o processo de projeto como o começo de uma mudança, a ação de projetar vai além da confecção de desenhos de produção, mas engloba, também, o planejamento do ciclo de vida completo do objeto como parte do processo (JONES, 1992), bem como as relações físicas, psicológicas, sociais e culturais entre os objetos produzidos e os usuários (BUCHANAN, 1992).

Novos métodos de projeto podem ser divididos em duas correntes distintas. A primeira acredita que a criatividade é o ponto chave do processo, e que as decisões mais importantes acontecem dentro da cabeça do projetista e não pode ser explicada de forma racional. São também conhecidas como “caixa-preta”.

A segunda corrente, chamada “caixa-de-vidro”, acredita que, mesmo não sendo capaz de justificar racionalmente as decisões tomadas, o processo de projeto pode ser inteiramente explicado de forma racional. O projetista é alimentado por informações e, através de um processo sequencial de análise, síntese e

avaliação reconhece o melhor caminho entre as possíveis soluções (JONES, 1992).

Assim, a metodologia de projeto como um procedimento organizado para transportar o processo de criação a certo resultado procura racionalizar as atividades criativas e apoiar o projetista para a solução de problemas cada vez mais complexos, e podem ser vistas como abstrações e reduções utilizadas para compreender o fenômeno projetivo.

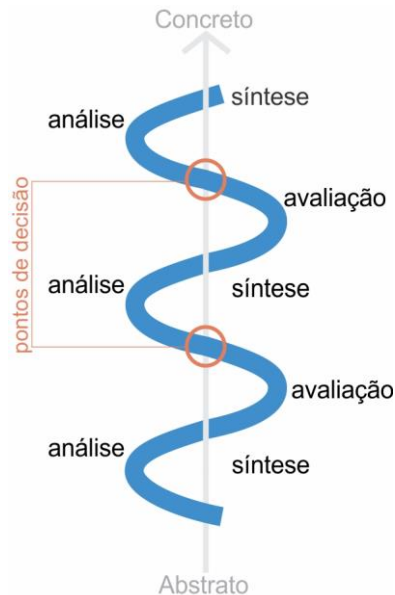
Pode-se, então, pensar o projeto como a idealização de um objeto. Ou seja, projetar significa formular e verificar virtualmente uma hipótese, o que é, por si, a base do pensamento científico. Por ser esta hipótese construída através de um processo de tomada de decisões, a ação de decidir é fundamental no projeto, pois está associada com seu objetivo final: descrever de que modo o objeto desempenha uma função. No entanto, durante o desenvolvimento do processo mental de criação as ideias normalmente estão em diferentes estágios de definição e não seguem uma ordem linear de sequência de decisão (BROADBENT, 1970). Os diferentes estágios de definição dos elementos que compõem o projeto obrigam o autor a trabalhar em ciclos simultâneos de decisão, de acordo com a parte do sistema analisada, o que particularmente estimula o desenvolvimento de estudos para a utilização de métodos racionais no campo do projeto arquitetônico (KOWALTOWSKY, 2006).

Os métodos da caixa de vidro indicam que os problemas de projeto possam ser divididos ou decompostos em peças e possam ser resolvidos em paralelo. Caso o problema possa ser subdividido, mais inteligência pode ser aplicada na solução de cada sub-problema (JONES, 1992).

JONES (1992) e KOWALTOWSKY (2006) apontam que diversos autores convergem para uma estrutura sequencial de decisões, cada uma composta por etapas de análise, síntese e avaliação, como representado na Figura 5. Cada nova decisão leva a uma mudança nas decisões iniciais, pois as decisões do processo de projeto são interdependentes, o que faz com que o processo de projeto não seja completamente linear e que as informações obtidas em qualquer fase do processo possam ser incluídas na sequência de decisões. Um dos

objetivos da metodologia de projeto é fazer do processo menos circular e mais linear.

Figura 5 - Representação do processo de projeto.



Fonte: Autor, adaptado de KOWALTOWSKY, 2006.

Um grande obstáculo neste sentido é a imprevisibilidade das relações entre as partes do problema. Para isso, JONES (1992) aponta que teóricos indicam uma sequência linear de ações:

- a) identificar todas as variáveis importantes;
- b) identificar as relações entre elas;
- c) maximizar as variáveis de saída.

A metodologia adotada nesta pesquisa buscou apoiar-se nesta sequência de decisões, identificando as principais variáveis que afetam o desempenho termo-energético das edificações, estabelecendo relações entre elas e buscando antecipar ao projetista o resultado destas relações. Estes resultados não pretendem definir um curso único de ação, mas fornecer informações que sirvam de apoio à tomada de decisão durante o processo de processo.

O desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada em métodos pouco estruturados, como aqueles apontados por JONES (1992), BUCHANAN (1992), KOWALTOWSKY (2009), LAWSON (2004) e MAHFUZ (1995) é bastante complexo, visto que sistemas baseados em conhecimento tendem a ser, por natureza, lineares e estruturados.

Esta pesquisa propõe uma abordagem técnica dos elementos construtivos que influenciam o desempenho termo-energético das edificações, mas auxilia, mesmo nos métodos de projeto menos estruturados, a embasar as decisões que se sucedem ao longo do processo de projeto. A cada ciclo de análise do problema e de síntese de uma possível solução, a ferramenta fornece informações a serem consideradas, juntamente com aquelas providas de diferentes imperativos de projeto, na avaliação da solução proposta.

2.2.2. Etapas do projeto de arquitetura

Os métodos representados por KOWALTOWSKY (2006) sugerem que o processo de projeto proceda de uma escala mais abstrata (organização geral da volumetria), para uma mais concreta e particular (definição dos materiais de construção e detalhamentos). Por outro lado, LAWSON (2005) indica que, muitas vezes, o particular, representado pelo detalhe, é o ponto de partida do projeto, e que a decisão de por onde começar pode variar de acordo com o perfil e o porte do projeto.

Neste sentido, a elaboração de projetos de edificações é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. A NBR 13532/1995 (ABNT, 1995) estabelece uma sequência de etapas para a execução da atividade técnica do projeto de arquitetura. Para cada etapa, as informações do projeto devem registrar uma série de atributos funcionais, formais e técnicos, contendo exigências prescritivas e de desempenho. O produto de cada etapa são documentos técnicos, como desenhos, textos (memoriais, relatórios, relações e listagens), planilhas e tabelas, fluxogramas e cronogramas, fotografias, maquetes ou outros meios de representação.

A indicação da NBR 13532 também é de que a atividade projetual proceda de uma escala mais geral e abstrata à uma mais específica e concreta, ou seja, da caracterização geral da concepção adotada à elaboração dos detalhes técnicos dos elementos da edificação e seus componentes construtivos. No Anexo C são resumidas as etapas de projeto arquitetônico definidas pela NBR 13532, bem como as principais informações técnicas a serem produzidas em cada uma delas.

Na organização desta pesquisa, optou-se por adotar a abordagem indicada por KOWALTOWSKY (2006), que vai ao encontro das indicações da NBR 13532/1995 (ABNT, 1995). Partiu-se da aquisição de informações preliminares, relacionadas ao levantamento de dados e programa de necessidades, seguindo por informações do entorno natural e construído. A partir daí segue-se por uma escala mais geral, como a influência do entorno, da implantação e da forma geral da edificação, para uma escala mais específica, como as características internas dos ambientes.

Esta abordagem foi adotada na organização e estruturação do programa, mas a sequência das informações inseridas pode ser escolhida pelo usuário, de forma que a ferramenta se adapte à diferentes métodos de projeto. Neste sentido, também é conveniente que a ferramenta possibilite a alteração das informações inseridas a qualquer tempo, e que os resultados atingidos sejam informados em tempo real. Assim, soluções distintas podem ser testadas de forma dinâmica.

2.2.3. Ferramentas de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura

Como visto, embora possam ser encontrados alguns procedimentos comuns entre os projetistas, o processo de criação de um objeto arquitetônico não possui métodos rígidos e universais. O campo do projeto arquitetônico situa-se numa área intermediária, entre ciência e arte, tendo que responder a questões não perfeitamente definidas e permitindo múltiplas abordagens. O processo é complexo, geralmente pouco externado pelo arquiteto, e as diversas áreas que o integram se desenvolvem de maneira independente. É papel do projetista integrá-las na concepção do objeto arquitetônico.

Dentre as diferentes dimensões de um todo arquitetônico, os aspectos formais e funcionais são caracterizados em grande parte por informações e teorias de caráter qualitativo e não são, por isso, absolutamente quantificáveis. A dimensão tecnológica, por outro lado, possui uma série de aspectos mensuráveis, como aqueles referentes ao desempenho térmico, lumínico e acústico. Neste sentido, apesar da complexidade do conjunto de aspectos a serem considerados, CUNHA (2005) aponta para a viabilidade da aplicação de modelos de apoio à tomada de decisão no âmbito tecnológico do processo de projeto.

Segundo o autor, os aspectos ambientais estão presentes na prática projetual de forma deficitária e problemática, visto que em muitos casos a iluminação, a ventilação e o conforto térmico são tratados pelos arquitetos de forma empírica. MARTINEZ (2000) aponta, ainda, que a pouca valorização dos aspectos ambientais tem precedentes em muitas obras da arquitetura moderna que, durante anos, foram apresentadas como modelos para o ensino de projeto.

A seguir são apresentadas ferramentas de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura vinculadas aos aspectos ambientais e integradas ao processo projetual. Estas ferramentas serviram como referência, em elementos específicos, para o desenvolvimento do modelo desta pesquisa.

2.2.3.1. Ferramentas voltadas para o desempenho energético

Após a crise do petróleo ocorrida na década de 70, diversos países direcionaram recursos e linhas de pesquisa para o desenvolvimento de edificações mais eficientes, sejam elas já construídas ou ainda em fase de projeto (LAMBERTS, et al., 2005). O conceito de eficiência energética passou a vigorar em muitos escritórios de arquitetura e, ainda na década de 70, foram desenvolvidas as primeiras ferramentas computacionais para avaliar o desempenho energético de edificações. O objetivo do uso destas ferramentas como suporte de decisão é transformar os indicadores energéticos extraídos em dados de arquitetura (VON MEUSEL, 2016).

Hoje, o *Building Energy Software Tools Directory* (<http://www.buildingenergysoftwaretools.com/software-listing>), site mantido pelo

Departamento de Energia dos Estados Unidos, registra 159 programas relacionados à eficiência energética de edificações. VENANCIO et al. (2011) apontam que os arquitetos tendem a ter contato com estas ferramentas basicamente em programas de pós-graduação, para quantificar a influência de uma combinação pré-determinada de variáveis. Aponta, também, que os arquitetos tendem a adotar o mesmo rigor científico das pesquisas em simulações durante o processo de projeto, o que restringe seu uso às etapas mais avançadas do processo.

Por outro lado, POTTS (2008) indica que estudos desenvolvidos nos estágios iniciais do processo de projeto são mais efetivos do que aqueles realizados nas etapas seguintes, ao ponto que, depois de definido o conceito, 80% dos custos de implementação e manutenção estão determinados.

Apesar do desenvolvimento de ferramentas computacionais de auxílio à redução do consumo energético nas edificações, um estudo realizado por MENDES et al. (2005) concluiu que, pela complexidade dos fenômenos físicos envolvidos, o uso destas ferramentas ainda é restrito a centros de pesquisas de universidades e institutos, o que significa pouca transferência de tecnologia e conhecimento para os escritórios de arquitetura. MOURSHED et al. (2003) apontam que estas ferramentas geralmente são empregadas por engenheiros civis na fase de detalhamento do projeto e não se aplicam à fase de concepção.

A seguir são apresentadas ferramentas de apoio à tomada de decisão em projeto de arquitetura relacionadas com o conforto térmico, que buscam simplificar os fenômenos físicos envolvidos nos processos, aplicáveis às primeiras etapas do processo de projeto.

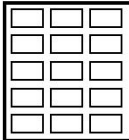
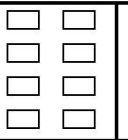
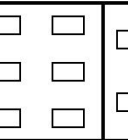
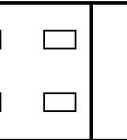
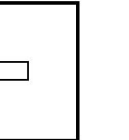
SERRA (1989) desenvolveu uma ferramenta de trabalho para arquitetos com o objetivo de otimizar o funcionamento energético dos projetos na Espanha. Este sistema de projeto bioclimático tem como objetivo servir de auxílio desde o início do processo de projeto, quando o projetista ainda ignora muitas das características da edificação, facilitando o conhecimento dos resultados energéticos das decisões tomadas. O autor aponta que o sistema deve ser

utilizado como uma ferramenta auxiliar, que informa o resultado energético do projeto durante o processo, sem determinar o caminho a seguir.

O método utilizado relaciona os aspectos objetivos do projeto com um modelo físico do funcionamento energético. O sistema se divide em cinco temas principais: implantação, modificação do entorno, forma, pele e interior do edifício. Cada tema possui diversos aspectos, e em cada um se escolhe, entre cinco casos-tipo, aquele referente ao projeto. Estas decisões são convertidas em valores numéricos e inseridas no cálculo do desempenho energético.

Os temas são ordenados dos mais gerais aos mais particulares, seguindo a ordem lógica da tomada de decisões, sem, no entanto, fixar esta ordem como única possível. Os aspectos são, ainda, divididos em três níveis: visão geral, orientação e detalhe. A Figura 6 apresenta um dos aspectos considerados pelo sistema, sua descrição, os cinco casos tipo correspondentes e as características bioclimáticas de cada um deles.

Figura 6 - Aspecto e casos-tipo propostos por SERRA (1989).

FORMA URBANA: DENSIDADE					U.1.4
					$gd = \frac{S_{te}}{S_{se}}$ S_{te} = Superfície construída (m²) S_{se} = Superfície de solo (m²)
1	2	3	4	5	
Aspecto que caracteriza a maior ou menor densidade construída dentro dos tipos urbanos anteriormente analisados. Em casos de maior densidade urbana se dificultam os intercâmbios energéticos com o meio natural.					

Edifício com menos aportes energéticos e com dificuldade de ventilação; temperaturas mais estáveis.

Fonte: SERRA, 1989.

Partindo de um instrumento de análise do uso eficiente da luz natural em projetos de arquitetura desenvolvido por Baker et al. (1993), chamado *Morphological Box*,

AMORIM (2007) desenvolveu um modelo para análise de projetos, que pode ser usado também durante o processo projetual. Este instrumento adapta o precedente ao contexto climático e construtivo brasileiro, ampliando a análise originalmente restrita à luz natural a outros quesitos ambientais, como ventilação natural, integração com a luz artificial e controles, visando uma maior aplicabilidade do instrumento para uma análise do conforto ambiental e da eficiência energética do sistema (AMORIM, 2007).

O Diagrama Morfológico, como é denominado, é utilizado para apresentar uma seleção de sistemas e estratégias efetivos para a luz natural em edifícios. Através da combinação dos parâmetros e variáveis apresentados pelo sistema, pode-se representar uma série de soluções de projeto, configurando-se um conjunto de regras de composição e, conseqüentemente, um repertório de tipos arquitetônicos adequados.

Os parâmetros são agrupados em três níveis: espaço urbano, edifício e ambiente interno; e apresentam uma série de variáveis a serem observadas, como mostra o Quadro 3. Estas variáveis são apresentadas de forma gráfica, através de iconogramas, como pode ser observado na Figura 7.

Apesar de ter como função principal a análise e catalogação de projetos considerados exemplares na utilização de luz natural e na adequação ao contexto climático, a autora indica a possibilidade de utilização do Diagrama na fase de anteprojeto, para checar soluções e possíveis problemas. Salienta, também, que ele pode voltar a ser utilizado na fase de projeto executivo, quando mais detalhes estão definidos. Este trabalho dedica-se exclusivamente ao uso de iluminação natural.

Quadro 3: Níveis, parâmetros e variáveis do Diagrama Morfológico.

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
I Espaço urbano	A Desenho Urbano B Refletância fachadas C Especularidade fachadas D Ângulo máximo do sol na base do edifício	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9 B1, B2, B3, B4 C1, C2, C3, C4 D1, D2, D3, D4
II Edifício	E Forma e Planta Baixa F Taxa de aberturas G Distribuição de aberturas H Proteções solares nas fachadas I Aberturas Zenitais J Mecanismos de ventilação natural	E1, E2, E3, E4, E5, E6 F1, F2, F3, F4 G1, G2, G3, G4 H1, H2, H3, H4, H5, H6 I1, I2, I3, I4, I5, I6 J1, J2, J3, J4
III Ambiente	K Planta Baixa L Posição do coletor de luz M Área do coletor de luz N Forma do coletor de luz O Controle da entrada de luz P Controle da ventilação natural Q Controle e integração da iluminação artificial	K1, K2, K3, K4 L1, L2, L3, L4, L5, L6 M1, M2, M3, M4, M5, M6 N1, N2, N3, N4, N5, N6 O1, O2, O3, O4, O5, O6 P1, P2, P3, P4, P5, P6 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6

Fonte: AMORIM, 2009.

Figura 7 - Variáveis do parâmetro A do Diagrama Morfológico.

A - Desenho Urbano



Fonte: AMORIM, 2009.

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC) desenvolveu, em parceria com o PROCEL/Eletróbrás, uma ferramenta de apoio à inserção de elementos bioclimáticos em projetos arquitetônicos denominada ProjetEEE – Projetando

Edificações Energeticamente Eficientes. Com o intuito de fortalecer a capacitação técnica e contribuir com referências para o desenvolvimento de edificações eficientes, a ferramenta apresenta dados de caracterização climática de mais de 400 cidades brasileiras, com indicação das estratégias de projeto mais apropriadas a cada região e detalhamentos da aplicação prática destas estratégias (LabEEE, 2016).

O ProjetEEE disponibiliza um banco de dados com as propriedades térmicas de componentes construtivos e uma ferramenta para cálculo da transmitância térmica de novos componentes, além de conteúdo didático sobre o funcionamento e aplicabilidade de equipamentos de condicionamento de ar, iluminação e geração distribuída de energia. A ferramenta, no entanto, não apresenta ou avalia possíveis soluções de projeto. A Figura 8 apresenta o layout da ferramenta e as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade de Porto Alegre – RS. Pelotas não se encontra entre as cidades apresentadas pelo programa.

Figura 8 – layout da ferramenta ProjetEEE.



Fonte: LABEEE, 2016.

Também desenvolvido pelo LabEEE, em convênio com o Ministério de Minas e Energia, o S3E é um projeto que tem por objetivo facilitar o uso da simulação do consumo energético de edificações através de uma interface *web*. Essa interface recebe informações do usuário, um banco de dados fornece as informações necessárias para a simulação e o *software* EnergyPlus executa as simulações. Através de um módulo de avaliação da ENCE, os resultados são analisados e classificados, visando a etiquetagem através do RTQ-C. Para tal são analisados dados referentes à envoltória (geometria, aberturas e componentes construtivos), aos ganhos térmicos (iluminação, ocupação, equipamentos e infiltração de ar) e ao sistema de condicionamento térmico. O uso é restrito a edificações comerciais.

2.3. Sistemas Especialistas

Sistemas Especialistas são programas computacionais que sintetizam conhecimento para resolver problemas, simulando a interação do usuário com um perito humano (BROWN, 1998). A tecnologia dos Sistemas Especialistas possui alto potencial para resolver problemas nos quais a experiência tem uma importante função, quando expressões algorítmicas não existem ou não são adequadas. A engenharia do conhecimento, disciplina que suporta o desenvolvimento desses sistemas, permite modelar a perícia dos especialistas humanos e armazená-la em sistemas computacionais não convencionais (AZEVEDO, 1999).

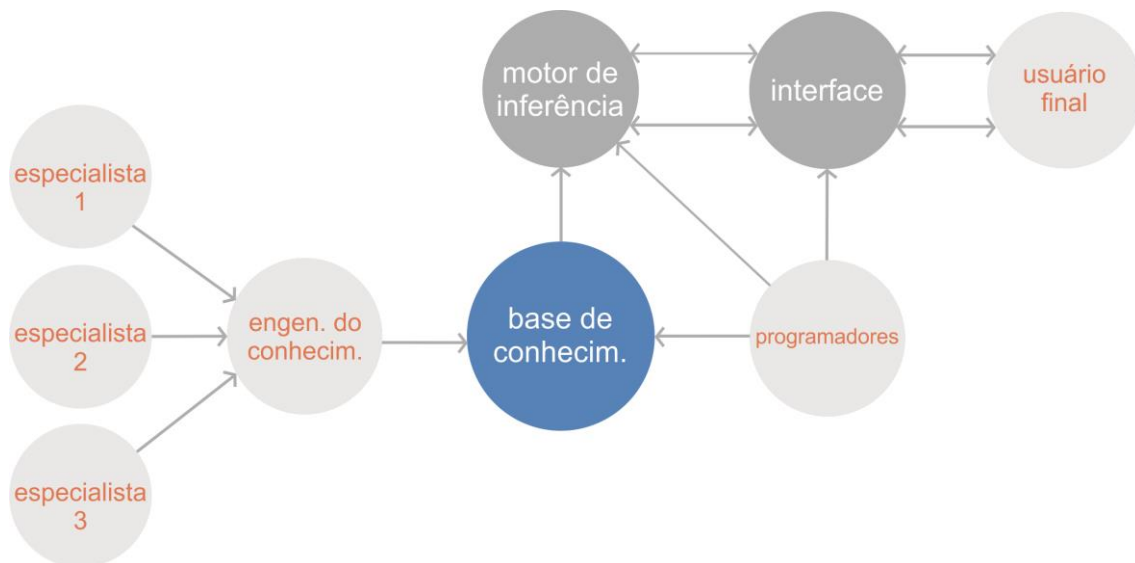
Diferente dos sistemas convencionais, os sistemas inteligentes são aqueles que utilizam a tecnologia da informação para manipular conhecimentos especializados com benefícios qualitativos e quantitativos, permitindo que um maior número de pessoas tenha acesso ao conhecimento a partir da sua sistematização, representação e processamento (AZEVEDO, 1999; REZENDE, 2005). A principal diferença entre um modelo tradicional e um modelo inteligente é a natureza da informação que o alimenta. Sistemas tradicionais trabalham com uma base de dados, ou seja, informações puras e quantificáveis. Um conjunto de dados analisados e contextualizados, quando comparados entre si representam uma informação, e alimentam os Sistemas de Informação. Um Sistema Inteligente, por sua vez, utiliza o conhecimento. Este conhecimento resulta de um processo no qual as informações são comparadas e combinadas em ligações, e analisadas segundo critérios de desempenho, duração e risco (REZENDE, 2005).

Os Sistemas Especialistas possuem um núcleo central responsável pela interação com o usuário do sistema, pelo processamento do conhecimento segundo linhas de raciocínio ou heurísticas e pela explicação das conclusões obtidas. Este núcleo ou *shell*, é formado por três módulos: um módulo coletor de dados, responsável por obter do usuário as informações referentes ao problema a ser resolvido; um motor de inferência, que irá desenvolver o raciocínio segundo as heurísticas propostas, cruzando os dados inseridos pelo usuário com o conhecimento previamente adquirido pelo sistema; e, por fim, um

módulo de explicações, capaz de transmitir ao usuário as conclusões obtidas e o motivo de cada pergunta proposta (REZENDE, 2005).

A Figura 9 apresenta um fluxograma esquemático do funcionamento dos sistemas especialistas.

Figura 9 – Fluxograma de um sistema especialista.



Fonte: Autor, adaptado de REZENDE (2005).

Na construção civil, FORMOSO (1991) utilizou um Sistema Especialista para o planejamento na construção de conjuntos habitacionais, baseado no conhecimento de 5 especialistas em planejamento e controle da construção na Grã Bretanha. A implementação do sistema, denominado *House Planner*, teve como objetivo investigar a viabilidade de se empregar a engenharia do conhecimento para produzir modelos capazes de sanar as lacunas de conhecimento no mercado da construção.

Formoso cita a importância de uma representação intermediária durante os estágios iniciais, pelo aumento da eficiência na aquisição do conhecimento (visto que a falta de tempo por parte dos especialistas é apontada como principal problema na implementação dos sistemas), e por permitir a checagem dos conhecimentos analisados e a verificação do estágio de desenvolvimento da base de conhecimento. Aponta, também, que versões preliminares do sistema

foram bastante úteis para a aquisição de conhecimentos mais detalhados e que sessões nas quais mais de um especialista participaram foram mais produtivas do que as individuais (FORMOSO, 1993).

Quando aplicados especificamente ao processo de projeto, é importante que os sistemas de apoio à tomada de decisão não cerceiem a atividade criativa do projetista frente aos diferentes problemas e particularidades de cada projeto. O conforto térmico é um aspecto que deve ser contextualizado com diversas outras questões técnicas, funcionais, culturais e sociais, muitas delas baseadas em subjetividades de projetistas e usuários. Neste sentido, só um profissional sensível a todas estas questões é capaz de solucionar satisfatoriamente um problema de projeto.

O papel da ferramenta é verificar virtualmente o resultado de um conjunto específico de ações definidas pelo projetista, e assim, indicar o impacto das decisões tomadas especificamente no desempenho térmico e energético do edifício.

2.3.1. Construção do conhecimento

A construção e formalização do conhecimento é o elemento chave no desenvolvimento de um Sistema Especialista (HOFFMAN, 1987). Consiste na organização e interpretação do conhecimento específico de um ou mais especialistas e na implementação do conhecimento construído em uma máquina, numa linguagem específica de aplicação (GOUDARD, 1992; DAMSKY, 1993). O processo de construção do conhecimento pode ser muito trabalhoso, podendo consumir de 50% a 80% do esforço total de implementação (DOMINGUES, 2001), e é considerado o principal “gargalo” no desenvolvimento de um Sistema Especialista (AZEVEDO, 1999). A construção do conhecimento pode ser feita através do estudo de referenciais teóricos ou através de entrevistas.

As entrevistas podem ser realizadas para registro de informação ou de caráter exploratório, e podem ser estruturadas (focadas ou de resposta fixa),

semiestruturadas ou não estruturadas (de resposta aberta) (FREEBODY, 2003; MARAVASTI, 2004).

As entrevistas estruturadas são as mais comuns entre cientistas, e seguem rígidos procedimentos (como fazer a mesma pergunta sem variações, estabelecer categorias de respostas e usar um protocolo fixo da entrevista através de um *script*). Nas entrevistas não estruturadas, os entrevistados não são forçados a escolher uma resposta pré-definida, podendo elaborar livremente suas afirmações, conectando-as da maneira que achar relevante. Elas permitem uma interação mais fluída entre o pesquisador e o entrevistado (MARAVASTI, 2004).

Para construção de um Sistema Especialista, as entrevistas abertas são indicadas quando o engenheiro do conhecimento não possui domínio sobre o assunto tratado. Já as entrevistas estruturadas e semiestruturadas requerem conhecimento do entrevistador, pois apresentam uma série de temas a serem abordados, bem como perguntas sugeridas (DOMINGUES, 2001). Ao mesmo tempo, podem ser abertas para mudanças na sequência e forma das perguntas, no sentido de acompanhar as contribuições das respostas do entrevistado.

BAUER & GASKELL (2014) apontam que duas questões centrais devem ser consideradas, independentemente do tipo de entrevista escolhido pelo pesquisador: o que perguntar (a especificação do tópico guia) e a quem perguntar (como selecionar os entrevistados).

Optou-se por iniciar a construção do conhecimento a partir do estudo de referenciais teóricos, criando uma estrutura preliminar para as entrevistas. O objetivo desta estrutura foi otimizar o tempo dispendido pelos especialistas, aumentando o alcance das entrevistas

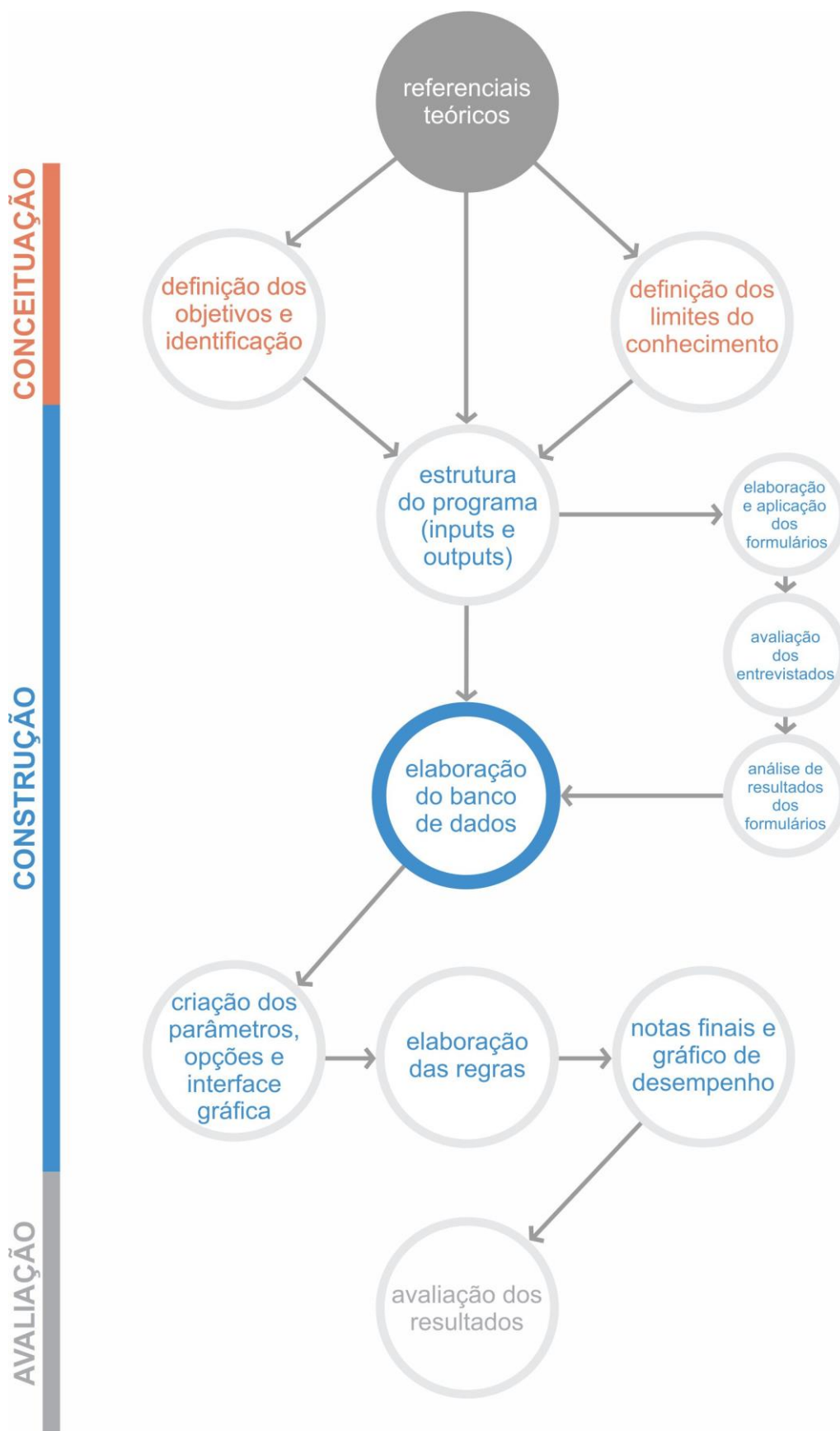
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Tomando como base o método proposto por FORMOSO (2013) para a aplicação da engenharia do conhecimento na construção civil, o desenvolvimento do estudo foi dividido em três etapas: conceituação, construção e avaliação. Este capítulo apresenta os materiais e métodos adotados em cada uma das etapas propostas. Na Figura 10 é apresentado o fluxograma do método proposto, indicando cada etapa de realização da pesquisa.

A primeira etapa consiste na definição conceitual do sistema. O objetivo, neste momento, foi a identificação do papel da aplicação no âmbito do problema existente e a definição dos limites do conhecimento relevante à construção do modelo. Nela foram definidos o objetivo da aplicação, os elementos de identificação, o público alvo e a forma de inserção do programa no processo de projeto. O estudo dos referenciais teóricos relacionados à influência das variáveis arquitetônicas no desempenho termo-energético e à discussão do método de projeto em arquitetura foram determinantes para consolidação desta etapa. A partir dela, iniciou-se a construção efetiva do sistema.

A segunda e terceira etapas consistem na construção e na avaliação do sistema da ferramenta. A seguir são apresentados a seguir os materiais e métodos utilizados desde a estruturação do conhecimento construído junto aos especialistas e referenciais teóricos até sua avaliação e disponibilização ao usuário final.

Figura 10: Fluxograma do método proposto.



Fonte: Autor.

3.1. Variáveis: definição e estruturação

A definição e a estruturação das variáveis consideradas pela ferramenta partiram do estudo desenvolvido por SERRA (1989), apresentado no item 2.1.3. Estas variáveis foram utilizadas em um algoritmo proposto pelo autor para estimar o desempenho energético de uma edificação ainda em fase inicial de projeto.

Do quadro geral proposto por SERRA (1989), buscou-se estudos que indicassem, através de programas de simulação computacional, as características físicas e construtivas das edificações e do entorno com maior influência no desempenho termo-energético. A partir dos estudos realizados por YILDIZ e ARSAN (2011), VAN DER KNAAP (2011), HOPFE e HENSEN (2011) e SILVA e GHISI (2013), determinou-se as variáveis mais importantes, divididas em quatro escalas: entorno imediato; implantação, traçado e volumetria; envoltória; e ambientes internos. Estabeleceu-se, também com base nos estudos citados, os valores que cada variável poderia assumir. Estes valores representam soluções de projeto: características físico-construtivas, tipos, orientações, afastamentos, etc.

A ferramenta se baseia na atribuição de pesos às variáveis e notas às opções, como mostra o Quadro 4. As soluções de projeto possuem notas, relativas a outras soluções ou absolutas, que, quando ponderadas pelo peso e somadas às notas das demais variáveis, representarão uma estimativa do grau de eficiência energética no nível em questão.

Quadro 4: Estruturação das variáveis.

NÍVEL	PESO	PARÂMETRO (VARIÁVEL)	OPÇÕES (SOLUÇÕES DE PROJETO)	NOTA
3 - IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA	%	Implantação	Em linha, maiores fachadas norte-sul	
			Em linha, maiores fachadas leste-oeste	
			Em linha, outras orientações	
			Compacta	
			Compacta, com pátio(s) interno(s)	
	%	Forma geral (volumetria)	Forma compacta (prismática)	
			Forma complexa	
	%	Relação com o solo	Edificação semi-enterrada	
			Edificação em contato com o solo	
			Edificação elevada do solo	
			Edificação elevada do solo com isolamento	
			Edificação elevada do solo com porão ventilado	
			Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado	
	%	Afastamento das divisas	$0 < \alpha < 30$	
			$30 < \alpha < 45$	
			$45 < \alpha < 60$	
			$60 < \alpha < 75$	
			$75 < \alpha < 90$	
			$\alpha = 90$	

Fonte: Autor.

A definição dos pesos e notas utilizados foi realizada através de entrevistas a especialistas na área de eficiência energética. O método utilizado é apresentado a seguir.

3.2. Formulários: elaboração, aplicação e análise de resultado

Estabelecidos os níveis, as variáveis e as opções, partiu-se para a elaboração dos formulários de consulta aos especialistas. Primou-se por um método que tirasse o máximo proveito do tempo dispendido pelos especialistas. Neste sentido, a formulação das entrevistas e a estruturação do conhecimento construído até o momento foram essenciais.

Visando, um maior alcance das entrevistas, optou-se pela utilização de formulários web, disponibilizados on-line. Para estruturação da interface utilizou-se as tecnologias HTML, CSS e *JavaScript*, como forma de facilitar o entendimento e o preenchimento dos mesmos. Os dados obtidos foram salvos em linguagem PHP, e um *script* na mesma linguagem foi utilizado para tratar os dados coletados.

Os formulários iniciam pela apresentação da pesquisa e por uma breve explicação para o preenchimento, como mostra a Figura 11. Logo, o usuário foi convidado a fornecer dados de sua formação acadêmica e atuação profissional.

Através destes dados, foi possível mensurar o grau de experiência na área de conforto e eficiência energética de cada participante, e, mais especificamente, o grau de familiaridade com a zona bioclimática 2. Para cada item foi atribuída uma pontuação específica, como mostra o Quadro 5. Assim foi possível definir um peso diferenciado para as respostas de cada especialista.

Figura 11: Introdução dos formulários.

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pelotas
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído

O questionário a seguir é parte da pesquisa “Apoio à Tomada de Decisão em Projeto de Arquitetura: um Sistema Especialista em Eficiência Energética”, desenvolvida no **LABCEE da UFPEL**.

A pesquisa trata da **avaliação de estratégias de projeto** para fins de **conforto e economia de energia** em **edifícios residenciais** situados na **zona bioclimática 2**, a partir da experiência de profissionais **especialistas na área**.

As variáveis de projeto foram divididas em **5 níveis**, dos quais 3 são considerados a seguir¹. São eles:

Nível 3: Implantação, traçado e volumetria;
Nível 4: Envoltória;
Nível 5: Ambientes internos.

Cada nível é composto por **parâmetros**, aos quais o participante deverá atribuir um **peso relativo** ao nível em questão. Cada parâmetro, por sua vez, apresenta **soluções de projeto** (opções), para os quais o participante deverá atribuir uma **avaliação** relativa ao **conforto** e à **eficiência energética**. Considerações podem ser acrescentadas ao final de cada item.

nível

peso dos parâmetros em relação ao nível proposto²

informações

Implantação, Traçado e Volumetria

Parâmetro	Opções	1	2	3	4	5	Considerações
Implantação ¹	Em linha, maiores fachadas norte-sul ¹						
	Em linha, maiores fachadas leste-oeste ¹						
	Em linha, outras orientações ¹						
Forma geral (volumetria) ¹	Compacta ¹						
	Compacta, com pátio(s) interno(s) ¹						
	Forma compacta (prismática) ¹						
	Forma complexa ¹						

campo para considerações

avaliação das opções

O tempo estimado para preenchimento dos questionários é de **15 minutos**. Obrigado pela contribuição!

¹Os níveis 1 e 2 contemplam condicionantes de projeto e por isso não são avaliados neste questionário.
² O peso atribuído aos parâmetros é relativo à soma total em cada nível, podendo somar qualquer valor.

Fonte: Autor.

Quadro 5: Pontuações atribuídas a formação acadêmica dos especialistas.

ITEM	OPÇÕES	PONTUAÇÃO
Cidade (Zona Bioclimática)	ZB2	0,4
	ZB3	0,2
	Outra	0
Graduação	Arquitetura e urbanismo	0,2
	Engenharia	0,2
	Outra	0,1
Especialização	Não	0
	Conforto	0,2
	Outra	0,1
Mestrado	Não	0
	Conforto	0,2
	Outra	0,1
Doutorado	Não	0
	Conforto	0,4
	Outra	0,2
Pós Doutorado	Não	0
	Conforto	0,2
	Outra	0,1
Atuação profissional	Docente / Pesquisador	0,4
	Projetista	0,2
	Construtor	0,2
	Outra	0,2
Experiência na área de conforto	0-2 anos	0,2
	2-5 anos	0,25
	5-10 anos	0,3
	+10 anos	0,4

Fonte: Autor.

A seguir, o participante foi solicitado a atribuir pesos relativos aos parâmetros e definir o grau de eficiência de cada uma das soluções de projeto propostas. As respostas poderiam assumir cinco valores, variando de muito eficiente (😊) a muito pouco eficiente (😞). A cada uma dessas graduações foram atribuídas as notas 1, 3, 5, 7 e 9. A exclusão das notas um e dez indicam que nenhuma solução seria considerada absolutamente ineficiente (zero) ou absolutamente eficiente (dez).

Foram recebidas respostas de 9 especialistas, e os resultados foram armazenados em um servidor para posterior análise. Concluído o recebimento das respostas, os valores foram exportados em formato CSV e inseridos, através de um *script* em *Visual Basic*, em uma planilha de dados. As planilhas com informações e respostas de cada especialista podem ser consultadas no Anexo II. Foram ocultados nomes e instituições de trabalho dos participantes.

De posse destas planilhas, os pesos e as notas atribuídos pelos especialistas foram agrupados e ponderados pela pontuação dada à formação acadêmica de cada um, através da Equação 1.

$$N_F = \frac{(N_{E1} \times P_{E1}) + (N_{E2} \times P_{E2}) + \dots + (N_{E9} \times P_{E9})}{S_{PE}}$$

(Equação 1)

Onde:

N_F = Nota final do parâmetro;

N_E = Nota atribuída pelo especialista;

P_E = Pontuação do especialista;

S_{PE} = Soma dos pesos dos especialistas.

Obteve-se, então, uma planilha resumo das notas e pesos obtidos. A partir da análise dos dados, constatou-se algumas discrepâncias entre os resultados dos formulários e os estudos apresentados no Capítulo 2. A relação da edificação com o solo apresentou um peso maior que a implantação, contrariando as orientações das planilhas de Mahoney e da NBR 15220. Houve, também, uma tendência de concentração das notas em valores intermediários, em função da diferença na avaliação das opções pelos nove especialistas.

A solução adotada foi limitar o número de especialistas considerados, em função da pontuação obtida por cada um. Para isto, estabeleceu-se o valor da pontuação mediana, separando-os em dois grupos. Foram utilizados, então, os quatro melhores pontuados para gerar uma nova planilha resumo. A utilização

desta amostra mostrou-se eficaz para os problemas apontados e passou a compor o banco de dados do programa.

3.3. Banco de dados

Para facilitar o acesso aos valores utilizados pelo programa elaborou-se uma planilha resumo, em formato XLSX, para compor o banco de dados do sistema. Nessa planilha, os valores dos pesos e das notas estão estruturados na mesma lógica do sistema, facilitando a visualização das relações entre as variáveis e o entendimento do programa. Foram atribuídos nomes simplificados a cada parâmetro, sem acentos, caracteres especiais ou espaços, utilizados, a seguir, na implementação das regras e do código do programa, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6: Trecho do banco de dados.

3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA					
cod	peso	parâmetro	cod	opções	nota
3A	0,28	[implantacao] Implantação	3A1	[linha_norte-sul] Em linha, maiores fachadas norte-sul	9,00
			3A2	[linha_este-oeste] Em linha, maiores fachadas leste-oeste	2,16
			3A3	[linha_outras] Em linha, outras orientações	5,58
			3A4	[compacta] Compacta	5,08
			3A5	[compacta_pátios] Compacta, com pátio(s) interno(s)	4,95
3B	0,24	[forma] Forma geral	3B1	[compacta] Forma compacta (prismática)	8,19
			3B2	[complexa] Forma complexa	5,89

Fonte: Autor.

A utilização de um banco de dados independente possibilita que os valores sejam atualizados sem qualquer alteração no código de implementação, que, por se tratar de uma linguagem específica de programação, exigiria um conhecimento técnico específico. O código aponta, então, para células específicas da planilha, devidamente identificadas, que contém todos os valores atribuídos aos pesos e às notas utilizadas.

3.4. Implementação do código do programa

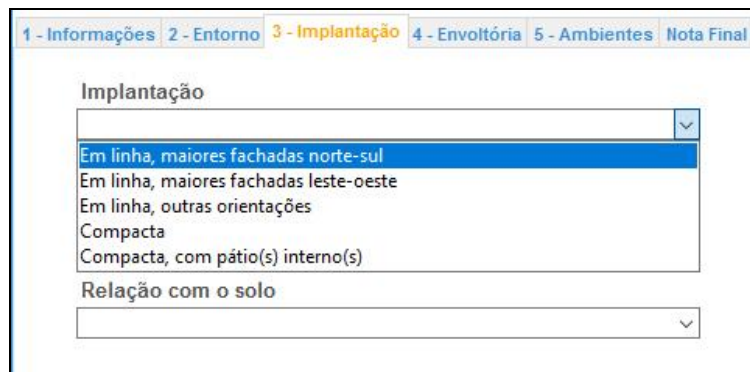
Criado o banco de dados, iniciou-se a implementação do código do programa. Para isso optou-se pela utilização do *Python*, uma linguagem de programação interpretada de desenvolvimento comunitário e aberta. É uma ferramenta amplamente utilizada em pesquisas científicas e aplicações envolvendo inteligência artificial, de boa legibilidade e que exige poucas linhas de código.

Para o desenvolvimento do código foi necessário: a) criar os parâmetros com os valores que poderiam assumir; b) implementar uma interface gráfica para a exibição dos parâmetros e interação do usuário final com o sistema; c) elaborar o conjunto de regras para atribuição da nota à opção (ou conjunto de opções) definida pelo usuário; d) calcular, através da ponderação das notas obtidas pelo peso relativo dos parâmetros, o desempenho previsto em cada nível; e e) informar, através de um gráfico, o desempenho previsto ao usuário.

3.4.1. Criação de parâmetros, opções e interface gráfica

O primeiro passo para a implementação do programa foi a criação dos parâmetros e das opções e a representação destes em uma interface gráfica. Esta interface possibilita a interação do usuário final com o sistema através da manipulação de ícones e outros indicadores, e foi dividida em seis *notebooks*, ou abas, com os cinco níveis indicados e uma página para os resultados finais. Para os parâmetros inseridos foram criados *containers* com as opções, dispostos nas abas como mostra a Figura 12.

Figura 12: Notebooks e containers.



Fonte: Autor.

3.4.2. Elaboração das regras

Definido o desenho da interface gráfica e dispostos os containers com os parâmetros e opções, iniciou-se a implementação das regras para definição das notas. O parâmetro [**implantacao**], por exemplo, pode assumir os seguintes valores:

- a) Em linha, maiores fachadas norte-sul;
- b) Em linha, maiores fachadas leste-oeste;
- c) Em linha, outras orientações;
- d) Compacta;
- e) Compacta, com pátio(s) interno(s).

Para cada valor assumido, a nota referente ao parâmetro assume um valor diferente. Foram criadas, então, regras do tipo *if / then / else*. Assim, se **implantação** é igual a **em linha, maiores fachadas norte-sul** então a **nota da implantação** é X. Cada parâmetro possui um conjunto de regras, exemplificado abaixo:

***if* implantação = em linha, maiores fachadas norte-sul**

***then* nota implantação = X;**

***if* implantação = em linha, maiores fachadas leste-oeste**

***then* nota implantação = X;**

Em alguns casos, a nota depende do valor atribuído a mais de um parâmetro, como na relação da edificação com o solo, que depende, também, do tipo de solo. Nestes casos, as regras são compostas:

if relação_solo = edificação semi-enterrada

and tipo de solo = areia

then nota relação com o solo = X.

O valor X nas regras apresentadas apontam para células da planilha que compõe o banco de dados. Assim, se os valores forem alterados, o programa passa a utilizar os valores atualizados. A tabela com os parâmetros criados, com os valores que podem assumir e com as notas obtidas em cada caso pode ser consultada no Anexo II. A partir desta tabela esquemática as regras foram escritas no código do programa.

3.4.3. Notas finais

Atribuídas notas a cada parâmetro, faz-se necessária a ponderação destas pelo peso relativo de cada um em relação ao nível em questão. No Nível 3, por exemplo, a nota final é composta pela Equação 2:

$$N_3 = (N_{IMP} \times P_{IMP}) + (N_{FG} \times P_{FG}) + (N_{RS} \times P_{RS}) + (N_{AFast} \times P_{AFast})$$

(Equação 2)

Onde:

- N_3 = nota do Nível 3;
- N_{IMP} = nota do parâmetro implantação;
- P_{IMP} = peso do parâmetro implantação;
- N_{FG} = nota do parâmetro forma geral;
- P_{FG} = peso do parâmetro forma geral;
- N_{RS} = nota do parâmetro relação com o solo;

- P_{RS} = peso do parâmetro relação com o solo;
- N_{AFAST} = nota do parâmetro afastamento das divisas;
- P_{AFAST} = peso do parâmetro afastamento das divisas.

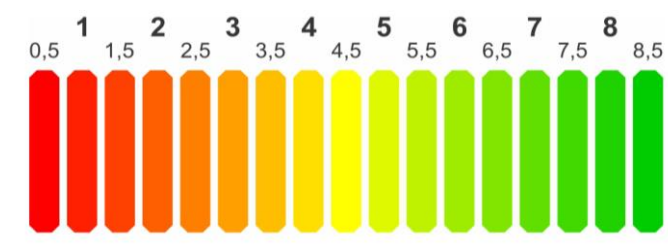
Alguns dos valores que compõem as notas finais são, por sua vez, compostos por outras notas ponderadas. O conjunto de equações utilizadas para o cálculo das notas finais, separados por níveis, pode ser consultado no Anexo C, Quadro C.3.

3.4.4. Gráfico de desempenho

Calculadas as notas finais, elaborou-se um gráfico para comunicar ao usuário o desempenho previsto das soluções propostas. A cada opção selecionada, o gráfico é atualizado, mostrando o desempenho de determinado conjunto de decisões. Isso permite que o usuário teste os caminhos e utilize a previsão de desempenho como apoio no processo de tomada de decisão.

Os gráficos são apresentados em cada nível, e ao final, um gráfico geral apresenta a avaliação da edificação. As notas atribuídas variam de um a nove. O gráfico foi, então, subdividido em intervalos de 0,5 pontos, variando de 0,5 (já que as notas parciais, ao serem ponderadas pelo peso das variáveis, podem assumir valores menores que 1) a 8,5, como mostra a Figura 13. Os valores numéricos não são apresentados ao usuário final, visto que o programa propõe uma avaliação qualitativa das soluções de projeto. Para a comunicação do desempenho ao usuário é utilizada uma escala cromática, partindo do vermelho (menos eficiente) ao verde (mais eficiente).

Figura 13: Gráfico de desempenho.



Fonte: Autor.

3.5. Avaliação dos resultados

Para verificar o funcionamento do programa foram selecionadas duas edificações com desempenho termo-energético conhecido através de simulações computacionais. As simulações foram realizadas no programa *Design Builder*, com o arquivo climático da cidade de Santa Maria, zona bioclimática 2. Consideraram-se temperaturas de conforto entre 18 e 29°.

Foram selecionados casos com características distintas: uma residência de alto padrão e outra de interesse social. As características de ambas foram inseridas no programa, obtendo-se notas para o desempenho geral e para cada ambiente de permanência prolongada. As notas foram, então, comparadas aos percentuais de conforto e aos graus hora indicados pelas simulações, verificando-se a precisão do programa.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados atingidos ao longo da pesquisa. Inicialmente são analisados os resultados dos formulários enviados aos especialistas, que configuraram o banco de dados utilizado pelo programa. A seguir é apresentada a ferramenta desenvolvida e sua utilização e, por fim, a avaliação do sistema proposto.

4.1. Estrutura do programa

As variáveis arquitetônicas foram divididas em três níveis, partindo-se de uma escala mais geral à uma mais específica. O primeiro nível inclui variáveis referentes à implantação, ao traçado e à volumetria da edificação. O segundo nível agrupa os elementos que compõe a envoltória do edifício e no terceiro são caracterizados detalhadamente os ambientes internos.

Além destes três níveis, foram criados dois níveis preliminares, com o objetivo de obter informações de cadastro do projeto e do sítio. Totalizam-se, então, 5 níveis, cada um com uma série de valores de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*). Os valores de entrada são aqueles informados pelo usuário, que incluem informações relevantes do projeto e do entorno, além das decisões

tomadas pelo projetista. Já os valores de saída representam as respostas do programa às informações inseridas.

A seguir estão detalhados os níveis e seus respectivos parâmetros, com as variáveis de entrada e de saída.

4.1.1. Nível 1 – Informações

O primeiro nível agrupa as informações básicas do projeto, como nome, descrição, uso, cidade e programa de necessidades. Estes valores de entrada servem para identificação do projeto e do clima em questão, visando que o programa possa ser futuramente expandido para outros usos e zonas bioclimáticas. Também são coletadas informações sobre o programa de necessidades, relevantes para a estimativa da área total da edificação e para a identificação do número de ambientes de permanência prolongada.

Neste nível, os valores de saída são as informações sobre o clima local e a indicação de estratégias projetuais adequadas ao clima em questão. A lista dos parâmetros de entrada e de saída do nível 1 pode ser observada no Quadro 7.

Quadro 7: Resumo dos valores de entrada e de saída do Nível 1.

NÍVEL 1 - INFORMAÇÕES		
Valores de entrada (<i>inputs</i>)		
1A	Nome do projeto	<i>Nome do projeto</i>
1B	Descrição	<i>Descrição do projeto</i>
1C	Uso	Residencial
1D	Cidade (Zona Bioclimática)	ZB2
1E	Programa de necessidades	Nº de ambientes de permanência prolongada
		Área dos ambientes
Valores de saída (<i>outputs</i>)		
	Informações sobre o clima local	
	Indicação de estratégias projetuais vinculadas ao conforto e à eficiência energética	

Fonte: Autor.

4.1.2. Nível 2 – Entorno imediato

O Nível 2 agrupa elementos relativos à malha urbana na qual o projeto será inserido, caracterizando as edificações vizinhas. O entorno construído e o relevo são determinantes na incidência dos ventos e da radiação solar. Inclui, também, o tipo de solo. Estes itens estão relacionados à eficiência das soluções de desenho e das técnicas construtivas adotadas nos níveis seguintes. O resumo dos valores de entrada e saída do Nível 2 são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 2.

NÍVEL 2 - ENTORNO IMEDIATO		
Valores de entrada (inputs)		
cod	parâmetro	opções
2A	Desenho urbano	Traçado regular, edificações no alinhamento predial
		Traçado regular, edificações recuadas
		Superquadras com recuos laterais
		Torres
		Outro
2B	Topografia (sentido da inclinação)	Não
		Norte
		Sul
		Leste
		Oeste
2C	Tipo de solo	Areia
		Argila
		Saibro
		Rocha
Valores de saída (outputs)		
	Considerações sobre o desenho urbano e topografia	

Fonte: Autor.

4.1.3. Nível 3 – Implantação, traçado e volumetria

O Nível 3 apresenta as definições relativas aos aspectos gerais da inserção da edificação no terreno. Nele são consideradas o tipo de implantação, a forma geral da edificação, entendida como a volumetria, a relação da edificação com o solo e o afastamento e altura das edificações vizinhas. Este é medido através de

um ângulo, que relaciona o afastamento em planta com a altura do entorno, determinantes para a insolação e ventilação das fachadas em cada orientação. O valor de saída deste nível é a nota do Nível 3, cuja equação é apresentada no Anexo C. Os valores de entrada e de saída são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 3.

NÍVEL 3 - IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA		
Valores de entrada (inputs)		
cod	parâmetro	opções
3A	Implantação	Em linha, maiores fachadas norte-sul
		Em linha, maiores fachadas leste-oeste
		Em linha, outras orientações
		Compacta
		Compacta, com pátio(s) interno(s)
3B	Forma geral (volumetria)	Forma compacta (prismática)
		Forma complexa
3C	Relação com o solo	Edificação semi-enterrada
		Edificação em contato com o solo
		Edificação elevada do solo
		Edificação elevada do solo com isolamento
		Edificação elevada do solo com porão ventilado
		Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado
3D	Afastamento das edificações vizinhas (por pavimento, por orientação)	$0 < \alpha N < 30$
		$30 < \alpha N < 45$
		$45 < \alpha N < 60$
		$60 < \alpha N < 75$
		$75 < \alpha N < 90$
		$\alpha N = 90$
Valores de saída (outputs)		
	Nota Nível 3	

Fonte: Autor.

4.1.4. Nível 4 – Envoltória

No Nível 4 estão incluídos os aspectos gerais relacionados a composição da envoltória do edifício, como mostra o Quadro 10. São apresentadas as características técnico-construtivas relativas aos materiais que compõem

estrutura, vedações, cobertura, piso e aberturas. O valor de saída é, também, uma nota geral para o nível.

Quadro 10: Resumo dos valores de entrada e saída do Nível 4.

NÍVEL 4 - ENVOLTÓRIA				
Valores de entrada (inputs)				
cod	parâmetro	opções		
4A	Estrutura	Concreto armado, sem pontes térmicas		
		Concreto armado, com pontes térmicas		
		Blocos cerâmicos auto-portantes		
		Metálica, sem pontes térmicas		
		Metálica, cem pontes térmicas		
		Madeira		
4B	Paredes	4B1	Transmitância	U<1,5
				1,5<U<2,0
				U>2,0
			Capacidade Térmica	CT<130
				CT>130
		4B2	Cor	$\alpha < 0,4$
				$0,4 < \alpha < 0,7$
				$\alpha > 0,7$
		4C	Cobertura	4C1
1,5<U<2,0				
U>2,0				
4C2	Cor			$\alpha < 0,4$
				$0,4 < \alpha < 0,7$
				$\alpha > 0,7$
4D	Aberturas	4D1	Composição	PVC
				Madeira
				Metálica
		4D2	Área de aberturas por área de fachada (por orientação)	<20%
				20 - 40%
				>40%
		4D3	Áreas abertas para ventilação por área de fachada	<10%
				10 - 20%
				>20%
		4D4	Vidro	Simples
				Duplo
		4D5	Estanqueidade	Muito estanque
Pouco estanque				
Valores de saída (outputs)				
	Nota Nível 4			

Fonte: Autor.

4.1.5. Nível 5 – Ambientes internos

No Nível 5 são detalhados os ambientes de permanência prolongada. Para cada ambiente são consideradas características do piso, das paredes externas, cobertura, orientação solar, tipo e tamanho das aberturas, incluindo também o tipo de vidro, a estanqueidade e o uso de proteção solar. O valor de saída deste nível é representado pela nota final de cada ambiente, como mostra o Quadro 11.

Quadro 11: Resumo valores de saída nível 5.

NÍVEL 5 - AMBIENTES INTERNOS				
Valores de entrada (<i>inputs</i>)				
cod	parâmetro	opções		
5A	Piso	5A1	Transmitância	U<1,5
				1,5<U<2,0
				U>2,0
		5A2	Capacidade Térmica	CT<130
				CT>130
5B	Paredes externas	5B1	Transmitância	U<1,5
				1,5<U<2,0
				U>2,0
			Capacidade Térmica	CT<130
				CT>130
		5B2	Cor	$\alpha < 0,4$
				$0,4 < \alpha < 0,7$
				$\alpha > 0,7$
		5B3	Orientação	Norte
				Nordeste
				Leste
				Sudeste
				Sul
				Sudoeste
				Oeste
				Noroeste

5C	Cobertura	5C1	Transmitância	U<1,5
				1,5<U<2,0
				U>2,0
		5C2	Cor	α <0,4
				0,4< α <0,7
				α >0,7
5D	Aberturas	5D1	Área translúcida por área de parede (por orientação)	<20%
				20 - 50%
				50 - 80%
				>80%
		5D2	Área efetiva para ventilação por área de parede (por orientação)	<20%
				20 - 50%
				50 - 80%
				>80%
		5D3	Proteção solar	Período + quente verão
				Todo o ano
		5D4	Composição	PVC
				Madeira
				Metálica
		5D5	Vidro	Simples
				Duplo
		5D6	Estanqueidade	Muito estanque
				Pouco estanque
Valores de saída (outputs)				
	Nota dos ambientes			
	Nota do Nível 5			

Fonte: Autor.

4.2. Análise de resultado dos formulários

O Quadro 12 apresenta a síntese das respostas obtidas a partir dos quatro especialistas com maior pontuação relativa à experiência e formação acadêmica. Os valores nela apresentados compõem o banco de dados do programa. A seguir, os valores obtidos são analisados e comparados aos referenciais teóricos apontados no Capítulo 2. A tabela síntese dos nove especialistas consultados pode ser observada no Anexo II.

Quadro 12: Síntese dos pesos e das notas atribuídos pelos especialistas.

3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA									
cod	peso	parâmetro	cod	peso	opções			nota	
3A	0,28	Implantação	3A1		Em linha, maiores fachadas norte-sul			9,00	
			3A2		Em linha, maiores fachadas leste-oeste			2,16	
			3A3		Em linha, outras orientações			5,58	
			3A4		Compacta			5,08	
			3A5		Compacta, com pátio(s) interno(s)			4,95	
3B	0,24	Forma geral (volumetria)	3B1		Forma compacta (prismática)			8,19	
			3B2		Forma complexa			5,89	
3C	0,24	Relação com o solo	3C1		Edificação semi-enterrada	3C1-1	Argila	3,56	
						3C1-2	Areia	6,59	
						3C1-3	Saibro	5,58	
						3C1-4	Rocha	8,19	
			3C2		Edificação em contato com o solo	3C2-1	Argila	5,15	
						3C2-2	Areia	7,68	
						3C2-3	Saibro	7,68	
						3C2-4	Rocha	7,18	
			3C3		Edificação elevada do solo	3C3-1	Argila	5,99	
						3C3-2	Areia	5,48	
						3C3-3	Saibro	5,99	
						3C3-4	Rocha	6,57	
			3C4		Edificação elevada do solo com isolamento	3C4-1	Argila	7,68	
						3C4-2	Areia	7,68	
						3C4-3	Saibro	7,68	
						3C4-4	Rocha	7,68	
			3C5		Edificação elevada do solo com porão ventilado	3C5-1	Argila	6,49	
						3C5-2	Areia	6,49	
						3C5-3	Saibro	6,49	
						3C5-4	Rocha	7,08	
			3C6		Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado	3C6-1	Argila	7,61	
						3C6-2	Areia	7,10	
						3C6-3	Saibro	7,61	
						3C6-4	Rocha	7,68	
3D	0,24	Afastamento das divisas	3D1	0,40	Norte	Pavimento térreo	3D1-1-1	0 < αN < 30	9,00
							3D1-1-2	30 < αN < 45	7,41
							3D1-1-3	45 < αN < 60	5,91
							3D1-1-4	60 < αN < 75	4,09
							3D1-1-5	75 < αN < 90	3,10
							3D1-1-6	αN = 90	2,52
						Pavimento superior	3D1-2-1	0 < αN < 30	9,00
							3D1-2-2	30 < αN < 45	7,41
							3D1-2-3	45 < αN < 60	4,90
							3D1-2-4	60 < αN < 75	4,09
							3D1-2-5	75 < αN < 90	3,10
							3D1-2-6	αN = 90	2,52
			3D2	0,15	Sul	Pavimento térreo	3D2-1-1	0 < αN < 30	4,65
							3D2-1-2	30 < αN < 45	4,14
							3D2-1-3	45 < αN < 60	3,23
							3D2-1-4	60 < αN < 75	3,23
							3D2-1-5	75 < αN < 90	2,32
							3D2-1-6	αN = 90	2,32

						Pavimento superior	3D2-2-1	0 < αN < 30	6,67
							3D2-2-2	30 < αN < 45	6,16
							3D2-2-3	45 < αN < 60	4,75
							3D2-2-4	60 < αN < 75	4,24
							3D2-2-5	75 < αN < 90	3,33
							3D2-2-6	αN = 90	3,33
			3D3	0,27	Leste	Pavimento térreo	3D3-1-1	0 < αN < 30	9,00
							3D3-1-2	30 < αN < 45	6,82
							3D3-1-3	45 < αN < 60	5,91
							3D3-1-4	60 < αN < 75	3,91
							3D3-1-5	75 < αN < 90	3,10
							3D3-1-6	αN = 90	3,03
						Pavimento superior	3D3-2-1	0 < αN < 30	7,84
							3D3-2-2	30 < αN < 45	6,82
							3D3-2-3	45 < αN < 60	4,82
							3D3-2-4	60 < αN < 75	3,91
							3D3-2-5	75 < αN < 90	2,52
							3D3-2-6	αN = 90	3,03
			3D4	0,18	Oeste	Pavimento térreo	3D4-1-1	0 < αN < 30	7,25
							3D4-1-2	30 < αN < 45	7,33
							3D4-1-3	45 < αN < 60	6,82
							3D4-1-4	60 < αN < 75	5,73
							3D4-1-5	75 < αN < 90	4,42
							3D4-1-6	αN = 90	3,43
						Pavimento superior	3D4-2-1	0 < αN < 30	7,25
							3D4-2-2	30 < αN < 45	7,33
							3D4-2-3	45 < αN < 60	6,82
							3D4-2-4	60 < αN < 75	5,73
							3D4-2-5	75 < αN < 90	3,91
							3D4-2-6	αN = 90	3,43
4 ENVOLTÓRIA									
cod	peso	parâmetro	cod	peso	opções				nota
4A	0,12	Estrutura	4A1		Concreto armado	4A1-1	Sem pontes térmicas	7,00	
						4A1-2	Com pontes térmicas	3,00	
			4A2		Blocos cerâmicos auto-portantes				8,09
			4A3		Metálica	4A3-1	Sem pontes térmicas	5,91	
						4A3-2	Com pontes térmicas	2,00	
			4A4		Madeira				8,19
4B	0,26	Paredes	4B1	0,33	Transmitância	4B1-1-1	U<1,5	9,00	
						4B1-1-2	1,5<U<2,0	7,41	
						4B1-1-3	U>2,0	3,99	
				0,33	Capacidade Térmica	4B1-2-1	CT<130	6,09	
						4B1-2-2	CT>130	7,58	
			4B2	0,35	Cor	4B2-1-1	Tons claros (α<0,4)	8,49	
						4B2-1-2	Tons médios (0,4<α<0,7)	6,09	
						4B2-1-3	Tons escuros (α>0,7)	3,68	
4C	0,33	Cobertura	4C1	0,60	Transmitância	4C1-1	U<1,5	9,00	
						4C1-2	1,5<U<2,0	7,41	
						4C1-3	U>2,0	3,99	
			4C2	0,40	Cor	4C2-1-1	Tons claros (α<0,4)	9,00	
						4C2-1-2	Tons médios (0,4<α<0,7)	6,19	
						4C2-1-3	Tons escuros (α>0,7)	4,19	

4D	0,28	Aberturas	4D1	0,18	Composição		4D1-1	PVC	7,61				
							4D1-2	Madeira	7,58				
							4D1-3	Metálica	3,81				
							4D2	0,23	Área de aberturas por área de fachada	Norte	4D2-1-1	<20%	5,08
											4D2-1-2	20 - 40%	7,48
											4D2-1-3	>40%	7,03
										Sul	4D2-2-1	<20%	6,67
											4D2-2-2	20 - 40%	5,84
											4D2-2-3	>40%	3,23
			Leste	4D2-3-1	<20%	5,56							
				4D2-3-2	20 - 40%	7,43							
				4D2-3-3	>40%	2,82							
			Oeste	4D2-4-1	<20%	7,43							
				4D2-4-2	20 - 40%	5,43							
				4D2-4-3	>40%	2,01							
			4D3	0,20	Áreas abertas para ventilação por área de fachada	Norte	4D3-1-1	<10%	5,08				
							4D3-1-2	10 - 20%	7,08				
							4D3-1-3	>20%	8,01				
						Sul	4D3-2-1	<10%	6,01				
							4D3-2-2	10 - 20%	5,33				
							4D3-2-3	>20%	2,72				
						Leste	4D3-3-1	<10%	4,49				
							4D3-3-2	10 - 20%	7,51				
							4D3-3-3	>20%	5,41				
						Oeste	4D3-4-1	<10%	6,01				
							4D3-4-2	10 - 20%	6,49				
							4D3-4-3	>20%	5,41				
			4D4	0,21	Vidro		4D4-1	Simples	3,99				
							4D4-2	Duplo	9,00				
			4D5	0,17	Estanqueidade		4D5-1	Muito estanque	8,59				
							4D5-2	Pouco estanque	3,99				
			5 AMBIENTES INTERNOS										
cod	peso	parâmetro	cod	peso	opções					nota			
5A	0,12	Piso	5A1	0,56	Piso em contato com o solo	Transmitância	5A1-1-1	U<1,5	7,99				
							5A1-1-2	1,5<U<2,0	7,58				
							5A1-1-3	U>2,0	6,59				
						Capacidade Térmica	5A1-2-1	CT<130	6,09				
							5A1-2-2	CT>130	7,58				
							5A2	0,44	Piso sem contato com o solo	Transmitância	5A2-1-1	U<1,5	7,58
			5A2-1-2	1,5<U<2,0	7,58								
			5A2-1-3	U>2,0	3,96								
			Capacidade Térmica	5A2-2-1	CT<130	4,57							
				5A2-2-2	CT>130	8,59							
5B	0,24	Paredes externas	5B1	0,16	Transmitância		5B1-1-1	U<1,5	8,49				
							5B1-1-2	1,5<U<2,0	7,58				
							5B1-1-3	U>2,0	3,56				
					Capacidade Térmica		5B1-2-1	CT<130	6,59				
							5B1-2-2	CT>130	6,57				
							5B2	0,21	Cor		5B2-1-1	Tons claros ($\alpha<0,4$)	8,24
			5B2-1-2	Tons médios ($0,4<\alpha<0,7$)	8,01								
			5B2-1-3	Tons escuros ($\alpha>0,7$)	2,57								

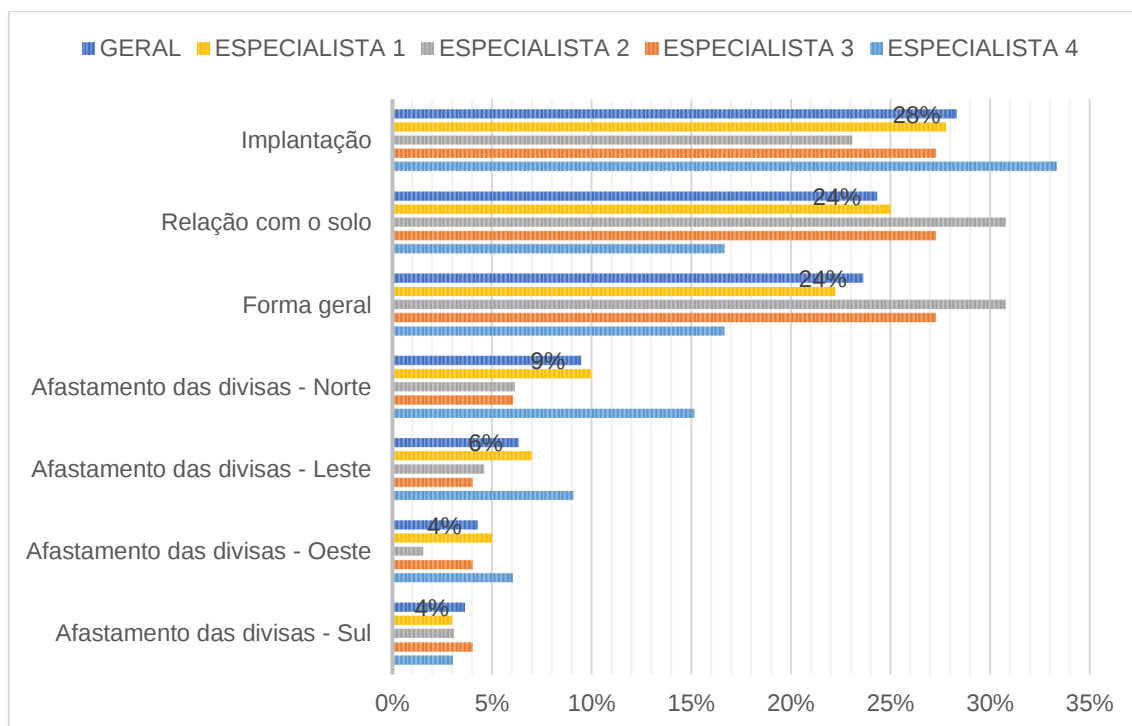
			5B3	0,47	Orientação		5B3-1	Norte	8,49
							5B3-2	Nordeste	7,99
							5B3-3	Leste	5,99
							5B3-4	Sudeste	2,97
							5B3-5	Sul	2,39
							5B3-6	Sudoeste	2,39
							5B3-7	Oeste	3,58
							5B3-8	Noroeste	6,77
5C	0,36	Cobertura	5C1	0,59	Composição		5C1-1	U<1,5	8,49
							5C1-2	1,5<U<2,0	7,58
							5C1-3	U>2,0	3,15
			5C2	0,41	Cor		5C2-1	Tons claros ($\alpha<0,4$)	8,75
							5C2-1	Tons médios ($0,4<\alpha<0,7$)	6,59
							5C2-1	Tons escuros ($\alpha>0,7$)	4,19
5D	0,29	Aberturas	5D1	0,14	Área translúcida por área de parede	Norte	5D1-1-1	<20%	7,08
							5D1-1-2	20 - 50%	7,99
							5D1-1-3	50 - 80%	7,20
							5D1-1-4	>80%	4,19
						Sul	5D1-2-1	<20%	7,03
							5D1-2-2	20 - 50%	4,82
							5D1-2-3	50 - 80%	1,81
							5D1-2-4	>80%	1,00
						Leste	5D1-3-1	<20%	4,97
							5D1-3-2	20 - 50%	6,39
							5D1-3-3	50 - 80%	3,58
							5D1-3-4	>80%	1,58
						Oeste	5D1-4-1	<20%	8,01
							5D1-4-2	20 - 50%	5,00
							5D1-4-3	50 - 80%	1,00
							5D1-4-4	>80%	1,00
			5D2	0,17	Área efetiva para ventilação por área de parede	Norte	5D2-1-1	<20%	6,24
							5D2-1-2	20 - 50%	7,58
							5D2-1-3	50 - 80%	7,03
							5D2-1-4	>80%	5,61
						Sul	5D2-2-1	<20%	7,43
							5D2-2-2	20 - 50%	5,84
							5D2-2-3	50 - 80%	1,81
							5D2-2-4	>80%	1,41
						Leste	5D2-3-1	<20%	7,00
							5D2-3-2	20 - 50%	8,01
							5D2-3-3	50 - 80%	5,00
							5D2-3-4	>80%	1,99
						Oeste	5D2-4-1	<20%	8,01
							5D2-4-2	20 - 50%	5,99
							5D2-4-3	50 - 80%	2,97
							5D2-4-4	>80%	1,99
			5D3	0,22	Proteção solar		5D3-1	Período + quente verão	8,51
							5D3-2	Todo o ano	2,97
			5D4	0,15	Composição		5D4-1	PVC	7,61
							5D4-2	Madeira	7,58
							5D4-3	Metálica	3,38
			5D5	0,16	Vidro		5D5-1	Simplex	4,75
							5D5-2	Duplo	9,00
			5D6	0,16	Estanqueidade		5D6-1	Muito estanque	8,59
							5D6-2	Pouco estanque	2,97

Fonte: Autor.

Observa-se que o nível 3 apresentou equilíbrio entre os parâmetros mais influentes, destacando-se a importância da implantação. As notas deste parâmetro e da forma geral acompanharam as recomendações das estratégias estudadas, indicando a implantação com maiores fachadas para as orientações norte e sul e a forma compacta, que reduz a área do envelope e, conseqüentemente, as trocas térmicas com o meio. No parâmetro relação com o solo, foram mais bem avaliadas opções onde a edificação está elevada e isolada. Nestes casos, o porão ventilado não apresentou vantagens. O pior cenário considerado foi a edificação elevada do solo, sem isolamento.

O afastamento das divisas mostrou maior influência da orientação norte, indicando a necessidade de priorizar a exposição solar desta fachada. As demais orientações apresentaram equilíbrio nos pesos, mas indicam que quanto maior o afastamento, melhores os resultados. Não houve diferenças significativas entre os valores atribuídos aos pavimentos térreo e superior. A Figura 14 a graduação dos pesos atribuídos para o nível 3 e a variação nos valores indicados por cada especialista.

Figura 14: Influência das variáveis no Nível 3.

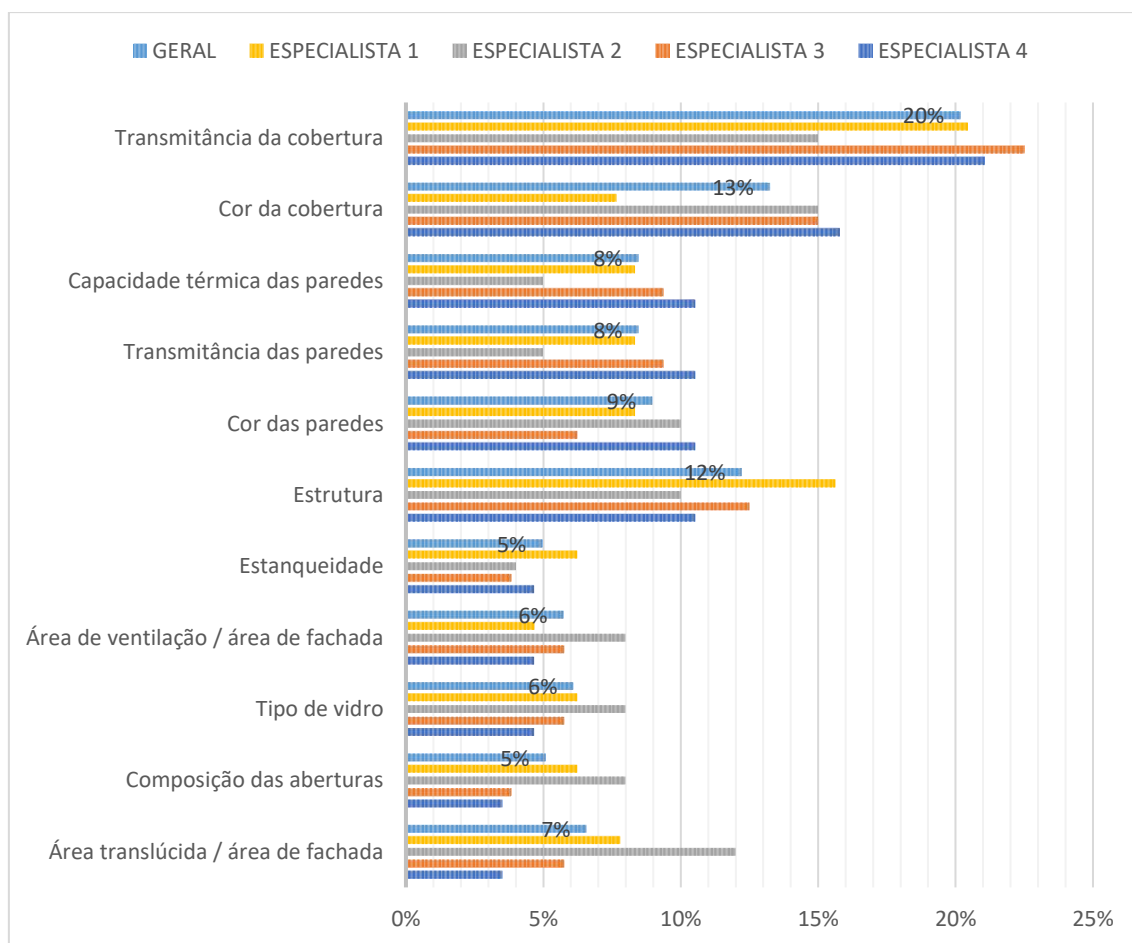


Fonte: Autor.

Como mostram as Figuras 15 e 16, os resultados dos níveis 4 e 5 foram ao encontro dos referenciais estudados, indicando grande influência da cobertura, em especial da transmitância térmica, no desempenho termo-energético da edificação. As aberturas, em ambos os casos, também se mostraram influentes.

Em relação ao desempenho da envoltória, a estrutura, apesar de pouco influente, apresentou melhores resultados para madeira e blocos cerâmicos. Estruturas de concreto e metal são indicadas em caso de eliminação das pontes térmicas. Paredes externas e cobertura apresentaram grande influência para a transmitância, indicando valores abaixo de $1,5\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Valores entre $1,5$ e $2\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ também apresentam desempenho satisfatório. Quanto às cores, indicam-se tons claros.

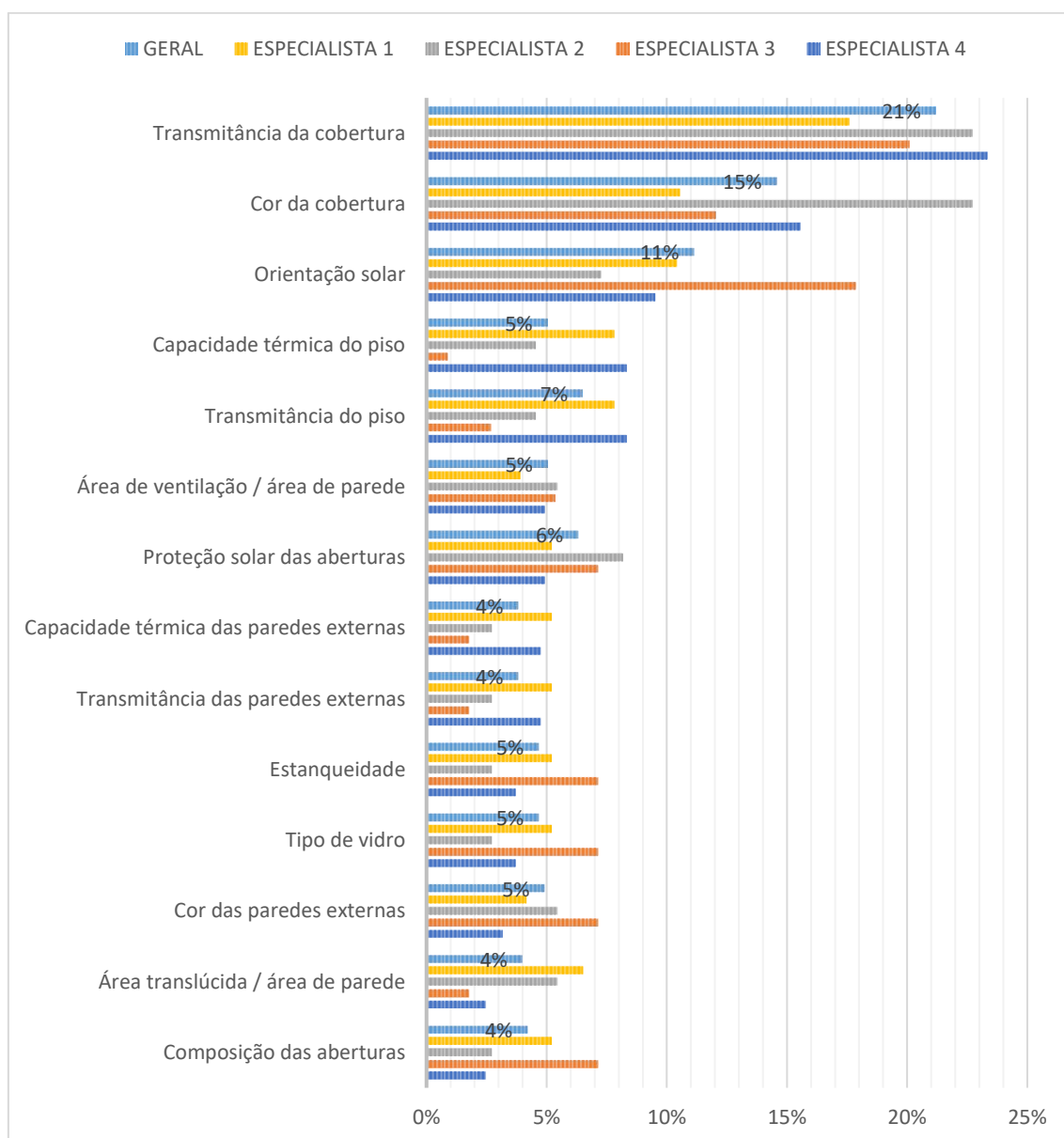
Figura 15: Influência das variáveis no Nível 4.



Fonte: Autor.

As aberturas apresentaram como fator mais influente a proporção de áreas transparentes por área de fachada. No norte, não se verifica variação entre valores acima dos 20% ou dos 40% da área da fachada, acompanhando as indicações das Planilhas de Mahoney e da NBR 15220. Para o sul e para oeste a indicação é de uma área inferior à 20%, e para leste entre 20 e 40%. Ainda referente às aberturas, indica-se vidros duplos e esquadrias muito estanques.

Figura 16: Influência das variáveis no Nível 5.



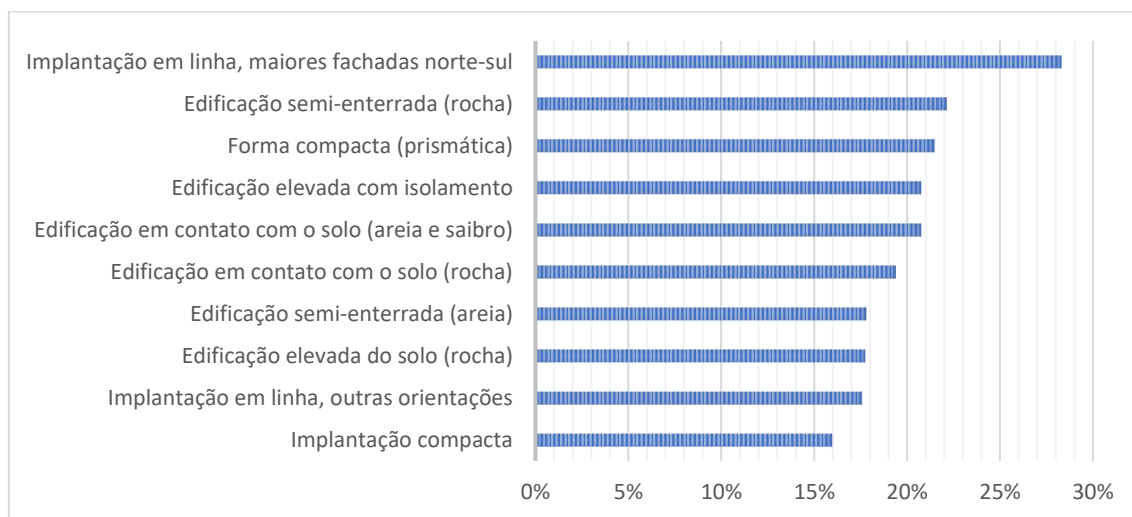
Fonte: Autor.

No Nível 5, além da grande influência da transmitância e da cor da cobertura, os resultados apontam para a orientação solar dos compartimentos, indicando clara vantagem para a orientação norte. Os demais parâmetros apresentaram equilíbrio nos valores, e as indicações acompanharam os referenciais teóricos apresentados. Como regra geral, indicam-se coberturas e paredes claras e isoladas e esquadrias estanques, de material isolante, com vidro duplo e proteção solar nas épocas mais quentes do ano.

Quando em contato com o solo, a variação da transmitância do piso não foi significativa. Quando não há contato do piso com o solo, são indicados valores de transmitância abaixo de $2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nos dois casos, valores mais altos de capacidade térmica são indicados.

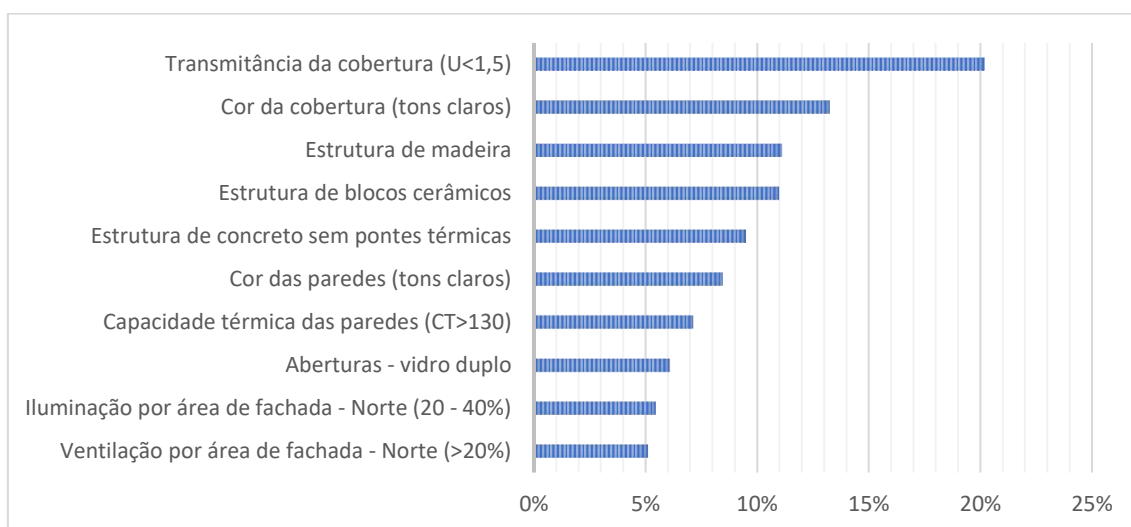
Nas Figuras 17, 18 e 19 é possível observar as opções com maior incremento na nota final de cada nível, indicando as soluções de projeto mais efetivas. Os valores foram obtidos através da ponderação da nota da opção pelo peso do parâmetro.

Figura 17: Opções mais influentes no Nível 3.



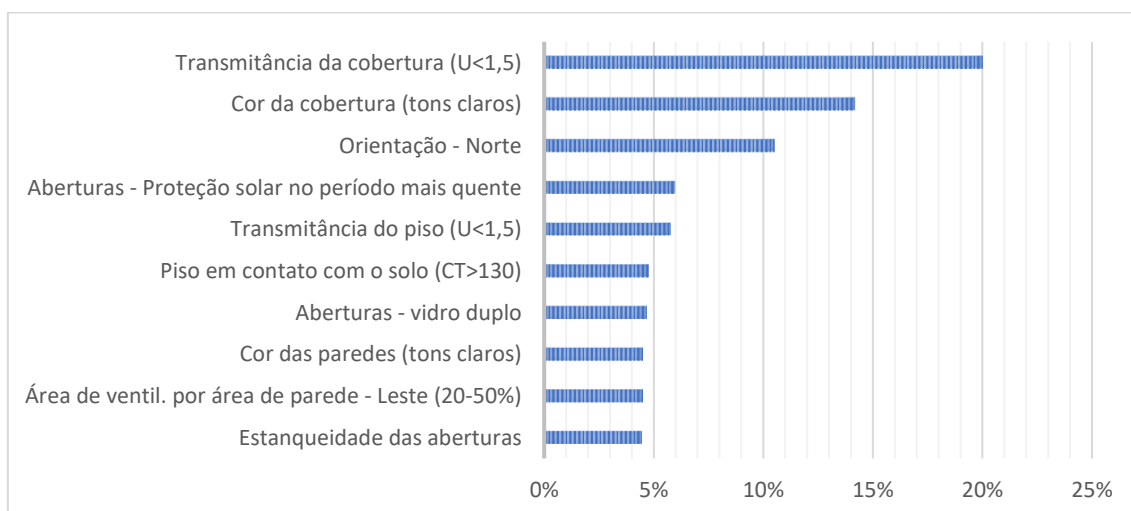
Fonte: Autor.

Figura 18: Opções mais influentes no Nível 4.



Fonte: Autor.

Figura 19: Opções mais influentes no Nível 5.



Fonte: Autor.

A Tabela 3 apresenta os valores completos dos pesos em cada nível. Inclui, também, os valores atribuídos pelos quatro especialistas considerados.

Tabela 3: Pesos por nível: percentuais gerais e por especialista.

3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA						
parâmetro		peso				
		G	E1	E2	E3	E4
3A	Implantação	28,3%	27,8%	23,1%	27,3%	33,3%
3B	Forma geral	23,6%	22,2%	30,8%	27,3%	16,7%
3C	Relação com o solo	24,3%	25,0%	30,8%	27,3%	16,7%
3D	Afastamento das divisas	23,8%	25,0%	15,4%	18,2%	33,3%
	Norte	9,5%	10,0%	6,2%	6,1%	15,2%
	Sul	3,6%	3,0%	3,1%	4,0%	3,0%
	Leste	6,3%	7,0%	4,6%	4,0%	9,1%
	Oeste	4,3%	5,0%	1,5%	4,0%	6,1%
4 ENVOLTÓRIA						
parâmetro		peso				
		G	E1	E2	E3	E4
4A	Estrutura	12,2%	15,6%	10,0%	12,5%	10,5%
4B	Paredes	25,9%	25,0%	20,0%	25,0%	31,6%
	Transmitância	8,5%	8,3%	5,0%	9,4%	10,5%
	Capacidade Térmica	8,5%	8,3%	5,0%	9,4%	10,5%
	Cor	9,0%	8,3%	10,0%	6,3%	10,5%
4C	Cobertura	33,4%	28,1%	30,0%	37,5%	36,8%
	Transmitância	20,2%	20,5%	15,0%	22,5%	21,1%
	Cor	13,2%	7,7%	15,0%	15,0%	15,8%
4D	Aberturas	28,5%	31,3%	40,0%	25,0%	21,1%
	Composição	5,1%	6,3%	8,0%	3,8%	3,5%
	Área translúcida / área de fachada	6,6%	7,8%	12,0%	5,8%	3,5%
	Área de ventilação / área de fachada	5,7%	4,7%	8,0%	5,8%	4,7%
	Vidro	6,1%	6,3%	8,0%	5,8%	4,7%
	Estanqueidade	5,0%	6,3%	4,0%	3,8%	4,7%
5 AMBIENTES INTERNOS						
parâmetro		peso				
		G	E1	E2	E3	E4
5A	Piso	11,6%	15,6%	9,1%	3,6%	16,7%
	Transmitância	6,5%	7,8%	4,5%	2,7%	8,3%
	Capacidade Térmica	5,0%	7,8%	4,5%	0,9%	8,3%
5B	Paredes externas	23,7%	25,0%	18,2%	28,6%	22,2%
	Transmitância	3,8%	5,2%	2,7%	1,8%	4,8%
	Capacidade Térmica	3,8%	5,2%	2,7%	1,8%	4,8%
	Cor	4,9%	4,2%	5,5%	7,1%	3,2%
	Orientação	11,1%	10,4%	7,3%	17,9%	9,5%
5C	Cobertura	35,8%	28,1%	45,5%	32,1%	38,9%
	Composição	21,2%	17,6%	22,7%	20,1%	23,3%
	Cor	14,6%	10,5%	22,7%	12,1%	15,6%
5D	Aberturas	28,9%	31,3%	27,3%	35,7%	22,2%
	Área translúcida / área de parede	4,0%	6,5%	5,5%	1,8%	2,5%
	Área de ventilação / área de parede	5,1%	3,9%	5,5%	5,4%	4,9%
	Proteção solar	6,3%	5,2%	8,2%	7,1%	4,9%
	Composição	4,2%	5,2%	2,7%	7,1%	2,5%
	Vidro	4,7%	5,2%	2,7%	7,1%	3,7%
	Estanqueidade	4,7%	5,2%	2,7%	7,1%	3,7%

Fonte: Autor.

4.3. Funcionamento do programa

Para identificação do programa, adotou-se o nome ARCH E. O significado remete à etimologia da palavra arquitetura, do grego αρχή [arkhé] (primeiro ou principal) e τέχνη [tékhton] (construção). Arché, para os filósofos pré-socráticos, seria o elemento principal da natureza, que dá origem a todas as coisas. A separação e a ênfase no E, como mostra a Figura 20, faz alusão à arquitetura eficiente. O termo *beta* indica que o programa ainda se encontra em versão de testes.

Figura 20: Logo do sistema.



Fonte: Autor.

Criou-se, também, um ícone de acesso, com base na logomarca proposta, apresentado na Figura 21.

Figura 21: Ícone do sistema.



Fonte: Autor.

A primeira tela traz a apresentação do sistema, com a logo do programa, da Universidade Federal de Pelotas, do Programa de Pós-Graduação em

Arquitetura e Urbanismo e do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética. O usuário é convidado a iniciar a utilização do *software*, como mostra a Figura 22.

Figura 22: Arch E, Página inicial.



Fonte: Autor.

O usuário é, então, direcionado ao primeiro nível, onde são inseridas as informações de cadastro do projeto e relacionadas ao programa de necessidades, como mostra a Figura 23. Ao inserir o uso e a cidade, o usuário pode acessar as informações sobre o clima local e as principais estratégias bioclimáticas, indicadas nas Figuras 24 e 25. Ao indicar o número de ambientes

de permanência prolongada, é desbloqueado o preenchimento do nome dos ambientes, vinculados ao Nível 5, como observado a seguir. Para isso é necessário salvar os dados informados.

Figura 23: Arch E, Nível 1 – Informações.

ARCH - E (Beta)

1 - Informações 2 - Entorno 3 - Implantação 4 - Envoltória 5 - Ambientes Nota Final

Nível 1 - Informações

Nome do projeto
Casa 12

Descrição
Residência Unifamiliar

Uso
Residencial

Cidade (Zona Bioclimática)
Zona Bioclimática 2

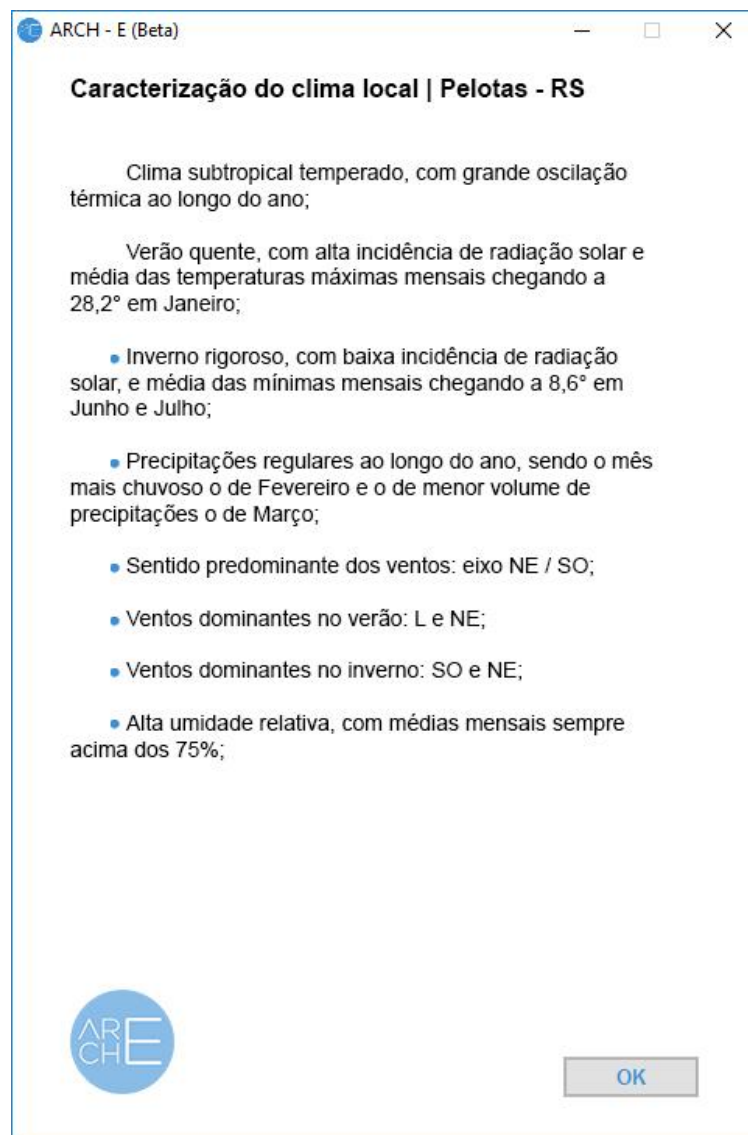
Nº de ambientes de permanência prolongada
4

Nome do ambiente 1	Sala de estar
Nome do ambiente 2	Suíte principal
Nome do ambiente 3	Dormitório 1
Nome do ambiente 4	Dormitório 2
Nome do ambiente 5	
Nome do ambiente 6	
Nome do ambiente 7	
Nome do ambiente 8	
Nome do ambiente 9	
Nome do ambiente 10	

Clima Estratégias Salvar

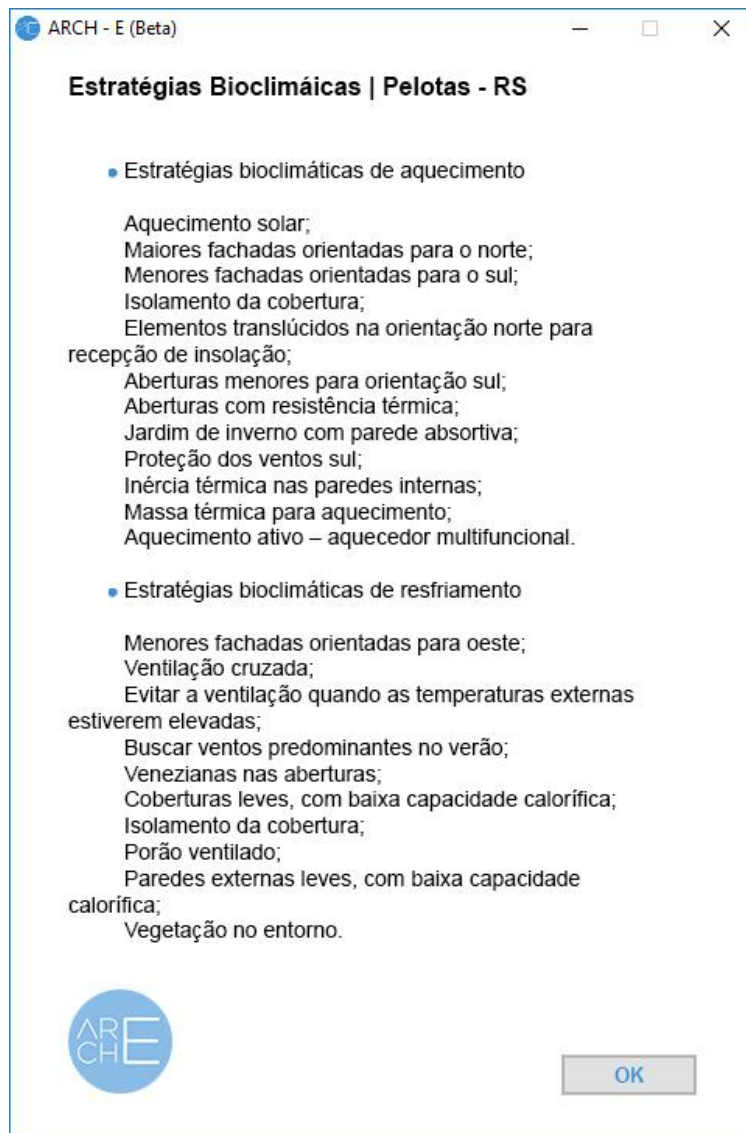
Fonte: Autor.

Figura 24: Arch E, Caracterização do clima local.



Fonte: Autor.

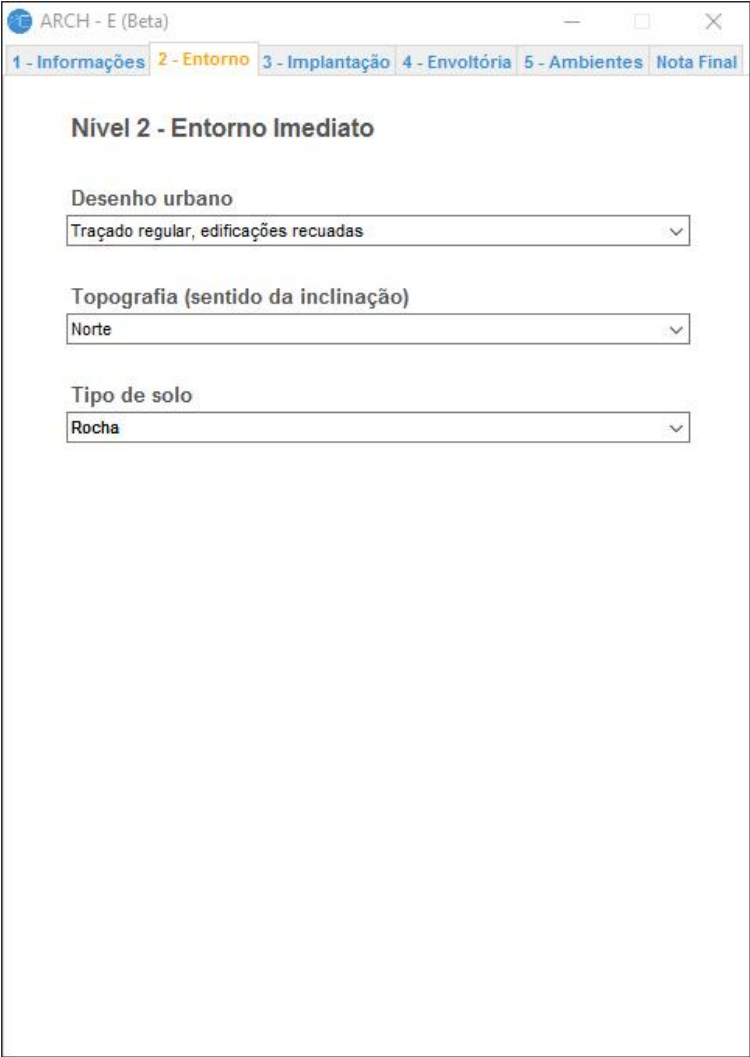
Figura 25: Arch E, Estratégias bioclimáticas para Pelotas, RS.



Fonte: Autor.

Os dois primeiros níveis são de preenchimento obrigatório para a utilização do restante do programa, pois contém informações e variáveis que estão relacionadas aos demais níveis. No segundo nível são inseridas informações sobre o entorno natural e construído da edificação, como mostra a Figura 26. A partir do preenchimento dos dois primeiros níveis, o usuário pode navegar pelas abas e utilizá-las de forma independente. Os níveis são, no entanto, apresentados na ordem lógica do processo de tomada de decisão, partindo dos aspectos mais gerais aos mais específicos.

Figura 26: Arch E, Nível 2 – Entorno imediato.



ARCH - E (Beta)

1 - Informações 2 - Entorno 3 - Implantação 4 - Envoltória 5 - Ambientes Nota Final

Nível 2 - Entorno imediato

Desenho urbano
Traçado regular, edificações recuadas

Topografia (sentido da inclinação)
Norte

Tipo de solo
Rocha

Fonte: Autor.

No terceiro nível é introduzido o gráfico de desempenho. A partir desse momento, cada informação inserida gera uma nota parcial para o nível em questão. O gráfico, que parte do desempenho nulo, passa a ser incrementado com estas notas, indicando o desempenho previsto. Com isso o usuário pode simular diversas combinações, verificando o impacto das decisões de projeto no desempenho termo-energético da edificação.

Figura 27: Arch E, Nível 3 – Implantação, traçado e volumetria.

ARCH - E (Beta)

1 - Informações 2 - Entorno 3 - Implantação 4 - Envoltória 5 - Ambientes Nota Final

Nível 3 - Implantação, Traçado e Volumetria

Implantação
Em linha, maiores fachadas norte-sul

Forma geral (volumetria)
Forma compacta (prismática)

Relação com o solo
Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado

Afastamento das edificações vizinhas

Norte
Térreo: $0 < \alpha < 30$ Superior: $0 < \alpha < 30$

Sul
Térreo: $0 < \alpha < 30$ Superior: $0 < \alpha < 30$

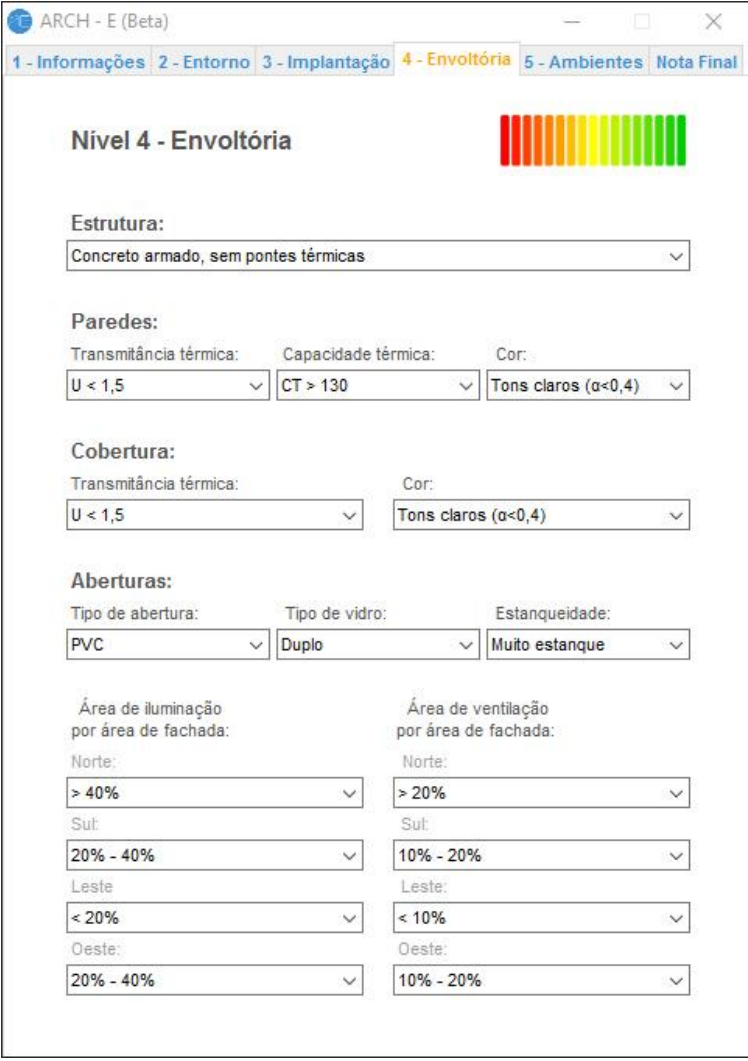
Leste
Térreo: $\alpha = 90$ Superior: $\alpha = 90$

Oeste
Térreo: $0 < \alpha < 30$ Superior: $0 < \alpha < 30$

Fonte: Autor.

Os níveis 3 e 4 apresentam aspectos relacionados à implantação da edificação no terreno e à da envoltória, como mostram as Figuras 27 e 28. A partir da inserção das características de desenho e técnico-construtivos da edificação, o gráfico apresenta, então, o desempenho previsto para o conjunto de decisões.

Figura 28: Arch E, Nível 4 – Envoltória.



ARCH - E (Beta)

1 - Informações 2 - Entorno 3 - Implantação **4 - Envoltória** 5 - Ambientes Nota Final

Nível 4 - Envoltória

Estrutura:
 Concreto armado, sem pontes térmicas

Paredes:
 Transmitância térmica: $U < 1,5$ Capacidade térmica: $CT > 130$ Cor: Tons claros ($\alpha < 0,4$)

Cobertura:
 Transmitância térmica: $U < 1,5$ Cor: Tons claros ($\alpha < 0,4$)

Aberturas:
 Tipo de abertura: PVC Tipo de vidro: Duplo Estanqueidade: Muito estanque

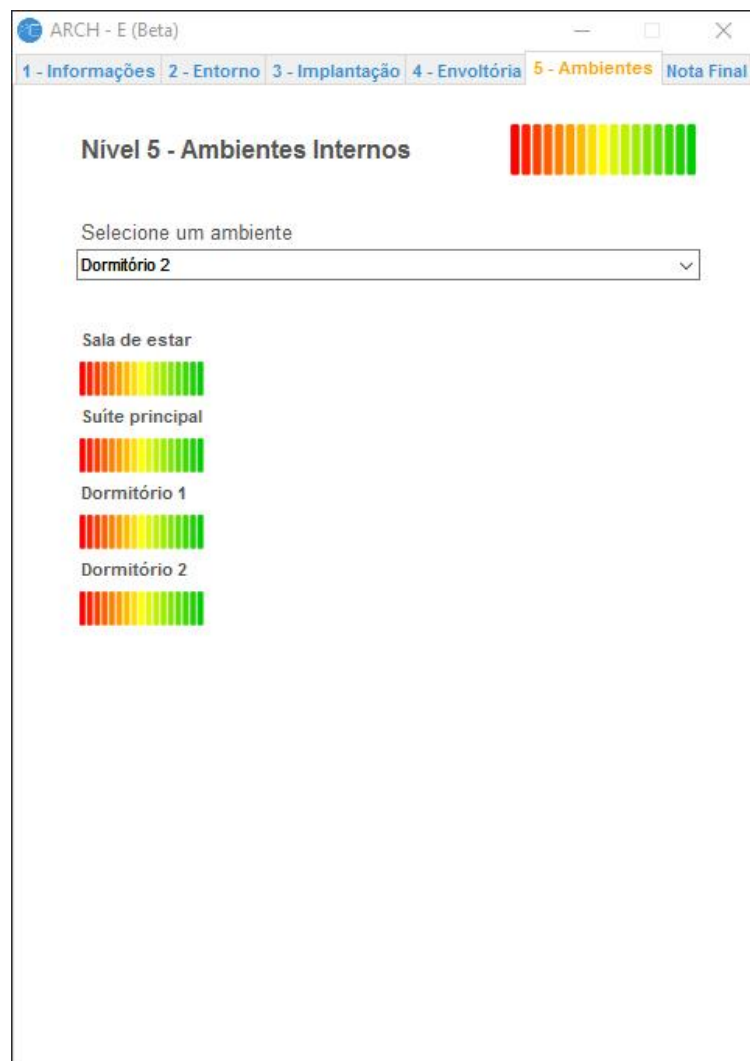
Área de iluminação por área de fachada:
 Norte: $> 40\%$
 Sul: $20\% - 40\%$
 Leste: $< 20\%$
 Oeste: $20\% - 40\%$

Área de ventilação por área de fachada:
 Norte: $> 20\%$
 Sul: $10\% - 20\%$
 Leste: $< 10\%$
 Oeste: $10\% - 20\%$

Fonte: Autor.

No Nível 5, o usuário deve selecionar, um a um, os ambientes definidos no Nível 1, como mostra a Figura 29. Fica a critério do usuário decidir quais são considerados tais ambientes, visto que a permanência nos compartimentos pode variar dependendo do usuário final. Ao selecionar o ambiente, uma nova janela é aberta, onde devem ser inseridas as informações relativas ao compartimento em questão, como mostra a Figura 30. A partir do preenchimento das informações, na janela principal são indicados os nomes dos compartimentos e os resultados individuais. No canto superior direito, um gráfico indica o desempenho médio dos ambientes.

Figura 29: Arch E, Nível 5 – Ambientes internos.



Fonte: Autor.

Figura 30: Arch E, ambiente interno.

ARCH - E (Beta)

Sala de estar

Piso

Contato com o solo
Sim

Transmitância
1,5 < U < 2,0

Capacidade Térmica
CT > 130

Paredes

Cor
Tons claros ($\alpha < 0,4$)

Transmitância
1,5 < U < 2,0

Orientação
Norte

Capacidade Térmica
CT > 130

Cobertura

Transmitância
U < 1,5

Cor
Tons claros ($\alpha < 0,4$)

Aberturas

Tipo de abertura:
PVC

Estanqueidade
Muito estanque

Tipo de vidro
Duplo

Proteção solar
Período mais quente do verão

Área de iluminação por área de parede

Norte
> 80%

Sul
< 20%

Leste
< 20%

Oeste
20 - 50%

Área de ventilação por área de parede

Norte
20 - 50%

Sul
< 20%

Leste
< 20%

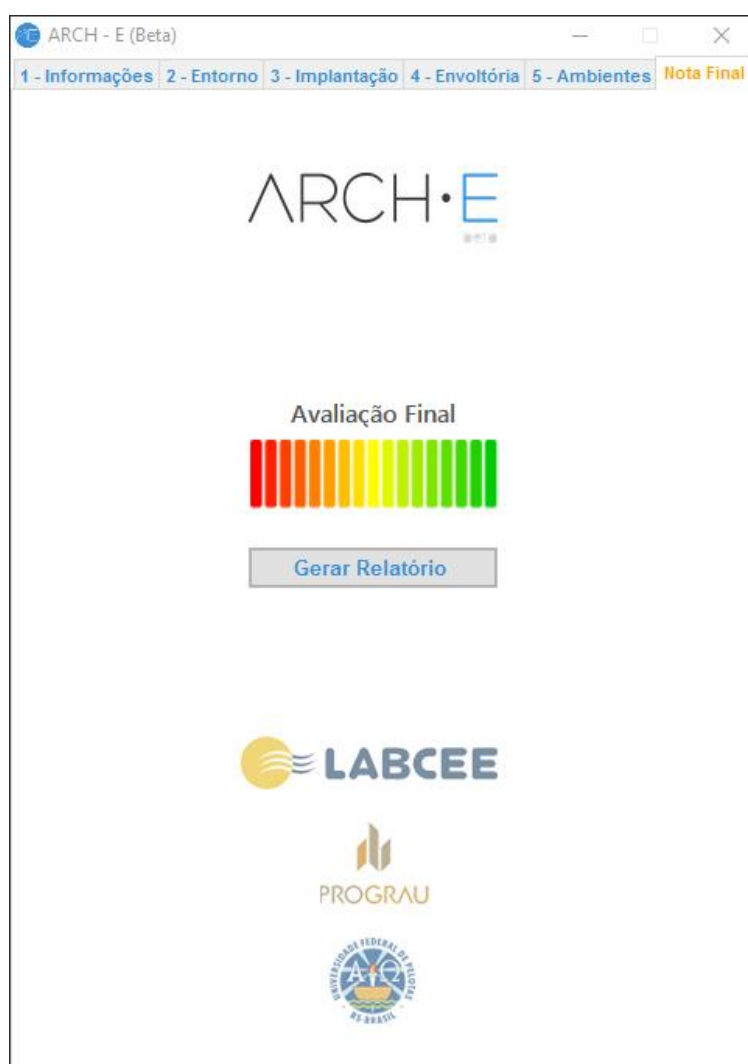
Oeste
20 - 50%

OK

Fonte: Autor.

A página final, como mostra a Figura 31, apresenta o gráfico resumo do grau de eficiência energética previsto, calculado a partir das notas dos níveis 3 e 4 e de cada ambiente interno considerado. É possível, também, gerar um *log* com as informações inseridas e com as notas parciais e geral atingidas, para futuras consultas ou apresentações.

Figura 31: Arch E - página final.



Fonte: Autor.

4.4. Avaliação dos resultados

Para avaliação dos resultados do programa foram selecionados dois tipos de residência com características distintas. A primeira é uma edificação de alto padrão, onde o desenho e as soluções construtivas adotadas visaram, desde o início do projeto, um bom desempenho termo-energético. A segunda trata-se de uma habitação de interesse social proposta por OLIVEIRA (2012) como típica do programa *Minha Casa, Minha Vida*, para avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15.220-3. Neste segundo caso, além do caso base, foram simuladas alterações na orientação, nas paredes e na cobertura. Os dois casos foram simulados com programa *Design Builder*, com o arquivo climático da cidade de Santa Maria, zona bioclimática 2. Consideram-se temperaturas de conforto, nos dois casos, entre 18 e 29°, intervalo utilizado por GIVONI (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento. Para avaliação do programa proposto as notas foram convertidas em valores percentuais (onde a nota zero corresponde a 0% de conforto, e a nota máxima nove corresponde a 100% de conforto) e comparadas aos resultados das simulações.

4.4.1. Caso 1 – Habitação de alto padrão

Trata-se do projeto de uma edificação residencial situada na cidade de Pelotas, RS. Desde a concepção do partido, a proposta priorizou a obtenção de conforto térmico com o mínimo consumo de energia. Na Figura 32 são apresentadas as plantas do térreo, do segundo e do terceiro pavimentos. Nota-se que a implantação no terreno buscou a melhor orientação para os compartimentos de permanência prolongada e boas condições de ventilação natural. As características de desenho e construtivas inseridas no programa, são apresentadas no Quadro 13.

Figura 32: Plantas baixa, do segundo e do terceiro pavimento - Caso 1.



Fonte: Autores do projeto.

Quadro 13: Características do Caso 1.

1 INFORMAÇÕES								
Nome do projeto	Casa AC							
Descrição	Residência unifamiliar - alto padrão							
Uso	Residencial							
Zona bioclimática	ZB2							
Amb perm prolong	4							
2 ENTORNO IMEDIATO								
Desenho urbano	Traçado regular, edificações recuadas							
Topografia	Não							
Tipo de solo	Argila							
3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA								
parâmetro			opções					
Implantação			Em linha, norte-sul					
Forma geral (volumetria)			Compacta					
Relação com o solo			Elevada, isolada, ventilada					
Afastamento das divisas	Norte	Térreo	<30º					
		Superior	<30º					
	Sul	Térreo	<30º					
		Superior	<30º					
	Leste	Térreo	=90					
		Superior	=90					
	Oeste	Térreo	<30º					
		Superior	<30º					
4 ENVOLTÓRIA								
parâmetro			opções					
Estrutura			Concreto, sem pontes térmicas					
Paredes	Transmitância		<1,5					
	Capacidade Térmica		>130					
	Cor		<0,4					
Cobertura	Transmitância		<1,5					
	Cor		<0,4					
Aberturas	Composição		PVC					
	Área de aberturas por área de fachada	Norte	>40					
		Sul	20 - 40%					
		Leste	<20%					
		Oeste	20 - 40%					
	Áreas abertas para ventilação por área de fachada	Norte	>20%					
		Sul	10 - 20%					
		Leste	<10%					
		Oeste	10 - 20%					
	Vidro		Duplo					
	Estanqueidade		Muito estanque					
5 AMBIENTES INTERNOS			Estar	Jantar	Suíte	D1	D2	Estúdio
parâmetro			opções					
Piso	Contato com o solo		Não	Não	Não	Não	Não	Não
	Transmitância		<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Capacidade Térmica		>130	>130	>130	>130	>130	>130
Paredes externas	Transmitância		<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Capacidade Térmica		>130	>130	>130	>130	>130	>130
	Cor		<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
	Orientação		Norte	Norte	Norte	Norte	Norte	Norte
Cobertura	Transmitância		<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Cor		<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Aberturas	Área translúcida por área de parede	Norte	55,8%	59,6%	55,8%	41,4%	39,2%	34,6%
		Sul	23,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Leste	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Oeste	35,4%	0,0%	30,4%	0,0%	0,0%	0,0%
	Área efetiva para ventilação por área de parede	Norte	27,9%	29,8%	27,9%	20,7%	19,6%	17,3%
		Sul	11,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Leste	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Oeste	17,7%	0,0%	15,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	Proteção solar		Quente	Não	Quente	Quente	Quente	Quente
	Composição		PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
	Vidro		Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo
Estanqueidade		Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	

Fonte: Autor.

A edificação apresentou a segunda graduação mais elevada para praticamente todas as notas parciais, obtendo como nota final 8,18, de um total de 9 pontos. Na Tabela 4 são apontados os resultados obtidos em cada nível e em cada ambiente de permanência prolongada.

Tabela 4: Avaliação do Caso 1.

NÍVEL		NOTA (1-9)
3	IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA	7,89
4	ENVOLTÓRIA	8,13
5	AMBIENTES INTERNOS	8,22
5.1	SALA DE ESTAR	8,22
5.2	JANTAR / COZINHA	8,04
5.3	SUÍTE PRINCIPAL	8,28
5.4	DORMITÓRIO 1	8,28
5.5	DORMITÓRIO 2	8,26
5.6	ESTÚDIO	8,26
NOTA FINAL		8,18

Fonte: Autor.

Para comparação com os índices de conforto indicados pela simulação, as notas obtidas foram graduadas em uma escala percentual. O quadro resumo com os resultados comparativos pode ser observado na Tabela 5. Indicou-se, também a variação entre os resultados da simulação e do programa proposto.

Tabela 5: Caso 1: simulação x ARCH E.

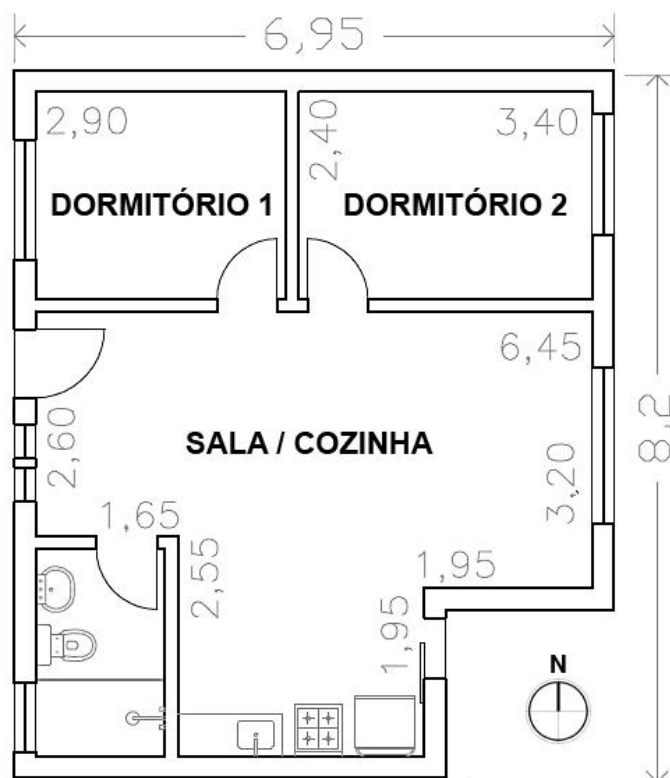
	SIMULAÇÃO	ARCH E		VARIAÇÃO
	conforto (%)	nota (1-9)	(%)	(%)
CASO 1 - TOTAL	98,80%	8,18	90,89%	7,91%
Sala de estar	98,68%	8,22	91,33%	7,35%
Jantar / cozinha	96,66%	8,04	89,33%	7,33%
Suíte	99,83%	8,28	92,00%	7,83%
Dormitório 1	99,81%	8,28	92,00%	7,81%
Dormitório 2	99,81%	8,26	91,78%	8,03%
Estúdio	96,78%	8,26	91,78%	5,00%

Fonte: Autor.

4.4.2. Caso 2 – Habitação de interesse social

OLIVEIRA (2012) utilizou um tipo de habitação de interesse social associada ao programa Minha Casa, Minha Vida, do governo federal, para avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15.220-3. Definiu-se um caso base com as especificações mínimas estipuladas pelo programa e pelo código de obras do município de Pelotas, cuja planta baixa é apresentada na Figura 35. A partir desse modelo, foram efetuadas alterações nas características do envelope, mantendo-se as mesmas configurações de ocupação e utilização, criando-se novas configurações de fechamentos horizontais e verticais.

Figura 33: Planta baixa da habitação de interesse social.



Fonte: OLIVEIRA (2012).

As informações do caso base inseridas no sistema proposto estão indicadas no Quadro 14, e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Quadro 14 Características do Caso 2.

1 INFORMAÇÕES					
Nome do projeto	Casa HIS				
Descrição	Residência unifamiliar - popular				
Uso	Residencial				
Zona bioclimática	ZB2				
Amb perm prolong	3				
2 ENTORNO IMEDIATO					
Desenho urbano	Traçado regular, edificações recuadas				
Topografia	Não				
Tipo de solo	Argila				
3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA					
parâmetro			opções		
Implantação			Compacta		
Forma geral (volumetria)			Compacta		
Relação com o solo			Em contato com o solo		
Afastamento das divisas	Norte	Térreo	=90		
		Superior	=90		
	Sul	Térreo	=90		
		Superior	=90		
	Leste	Térreo	<30º		
		Superior	<30º		
	Oeste	Térreo	<30º		
		Superior	<30º		
4 ENVOLTÓRIA					
parâmetro			opções		
Estrutura			Blocos cerâmicos		
Paredes	Transmitância		3		
	Capacidade Térmica		296		
	Cor		0,41		
Cobertura	Transmitância		2		
	Cor		0,81		
Aberturas	Composição		Metálica		
	Área de aberturas por área de fachada	Norte	0,0%		
		Sul	0,0%		
		Leste	21,4%		
		Oeste	7,0%		
	Áreas abertas para ventilação por área de fachada	Norte	0,0%		
		Sul	0,0%		
		Leste	10,7%		
		Oeste	3,5%		
	Vidro		Simples		
Estanqueidade		Pouco estanque			
5 AMBIENTES INTERNOS			D1	D2	Sala
parâmetro			opções		
Piso	Contato com o solo		Sim	Sim	Sim
	Transmitância		3	3	3
	Capacidade Térmica		296	296	296
Paredes externas	Transmitância		3	3	3
	Capacidade Térmica		296	296	296
	Cor		0,41	0,41	0,41
	Orientação		Oeste	Leste	Leste
Cobertura	Transmitância		2	2	2
	Cor		0,81	0,81	0,81
Aberturas	Área translúcida por área de parede	Norte	0,0%	0,0%	0,0%
		Sul	0,0%	0,0%	0,0%
		Leste	0,0%	21,8%	29,2%
		Oeste	18,6%	0,0%	0,0%
	Área efetiva para ventilação por área de parede	Norte	0,0%	0,0%	0,0%
		Sul	0,0%	0,0%	0,0%
		Leste	0,0%	10,9%	14,6%
		Oeste	9,3%	0,0%	0,0%
	Proteção solar		Quente	Quente	Quente
	Composição		Metálica	Metálica	Metálica
	Vidro		Simples	Simples	Simples
Estanqueidade		Pouco	Pouco	Pouco	

Fonte: Autor.

Tabela 6: Avaliação do Caso 2.

NÍVEL		NOTA (1-9)
3	IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA	6,42
4	ENVOLTÓRIA	5,99
5	AMBIENTES INTERNOS	6,08
5.1	SALA DE ESTAR	6,17
5.3	DORMITÓRIO 1	5,89
5.4	DORMITÓRIO 2	6,18
NOTA FINAL		6,13

Fonte: Autor.

Testou-se, também, a resposta do programa a alteração na orientação do Caso 2. A sala de estar, que estava voltada para o leste, passou a voltar-se para o norte. Os dormitórios, então orientados para leste e oeste, foram orientados para norte e sul. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Avaliação do Caso 2 – orientação norte-sul.

NÍVEL		NOTA (1-9)
3	IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA	6,02
4	ENVOLTÓRIA	5,98
5	AMBIENTES INTERNOS	6,22
5.1	SALA DE ESTAR	6,45
5.3	DORMITÓRIO 1	5,76
5.4	DORMITÓRIO 2	6,45
NOTA FINAL		6,13

Fonte: Autor.

Apesar da variação das notas parciais, a nota final manteve-se a mesma. A sala de estar e o dormitório orientado para norte apresentaram leve aumento nas notas, e o dormitório voltado para sul apresentou diminuição. A variação foi pequena devido ao tamanho reduzido das aberturas que, mesmo quando bem orientadas, ainda apresentam baixo percentual em relação às áreas de parede.

Foram feitas, também, avaliações com alterações na transmitância e na absorvância das paredes e cobertura. A primeira variação foi nas paredes, cuja

transmitância variou de 3,0 para 1,0 W/(m² .K) e a absorptância de 0,41 para 0,2. Posteriormente variou-se a transmitância da cobertura de 2,0 para 3,0 W/(m² .K) e a absorptância de 0,81 para 0,5. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Caso 2: simulação x ARCH E.

	SIMULAÇÃO	ARCH E		VARIAÇÃO
	conforto (%)	nota (1-9)	(%)	(%)
CASO 2 - TOTAL	71,70%	6,13	68,11%	3,59%
Dormitório 1	75,00%	5,89	65,44%	9,56%
Dormitório 2	74,30%	6,18	68,67%	5,63%
CASO 2 - NORTE SUL - TOTAL	72,40%	6,13	68,11%	4,29%
Dormitório 1	72,10%	5,76	64,00%	8,10%
Dormitório 2	75,30%	6,45	71,67%	3,63%
CASO 2 - VARIAÇÃO PAREDES	74,50%	6,38	70,89%	3,61%
CASO 2 - VARIAÇÃO COBERTURA	66,10%	5,59	62,11%	3,99%

Fonte: Autor.

A intenção de avaliar variações no caso base foi verificar se os resultados do programa acompanham os resultados da simulação computacional. A Tabela 9 compara as variações em ambos em relação ao caso base.

Tabela 9: Caso 2 – Avaliação das variações.

	SIMULAÇÃO		ARCH E	
	conforto (%)	var caso base	(%)	var caso base
CASO BASE	71,70%	-	68,11%	-
VARIAÇÃO ORIENTAÇÃO	72,40%	0,70%	68,11%	0,00%
VARIAÇÃO PAREDES	74,50%	2,80%	70,89%	2,78%
VARIAÇÃO COBERTURA	66,10%	-5,60%	62,11%	-6,00%

Fonte: Autor.

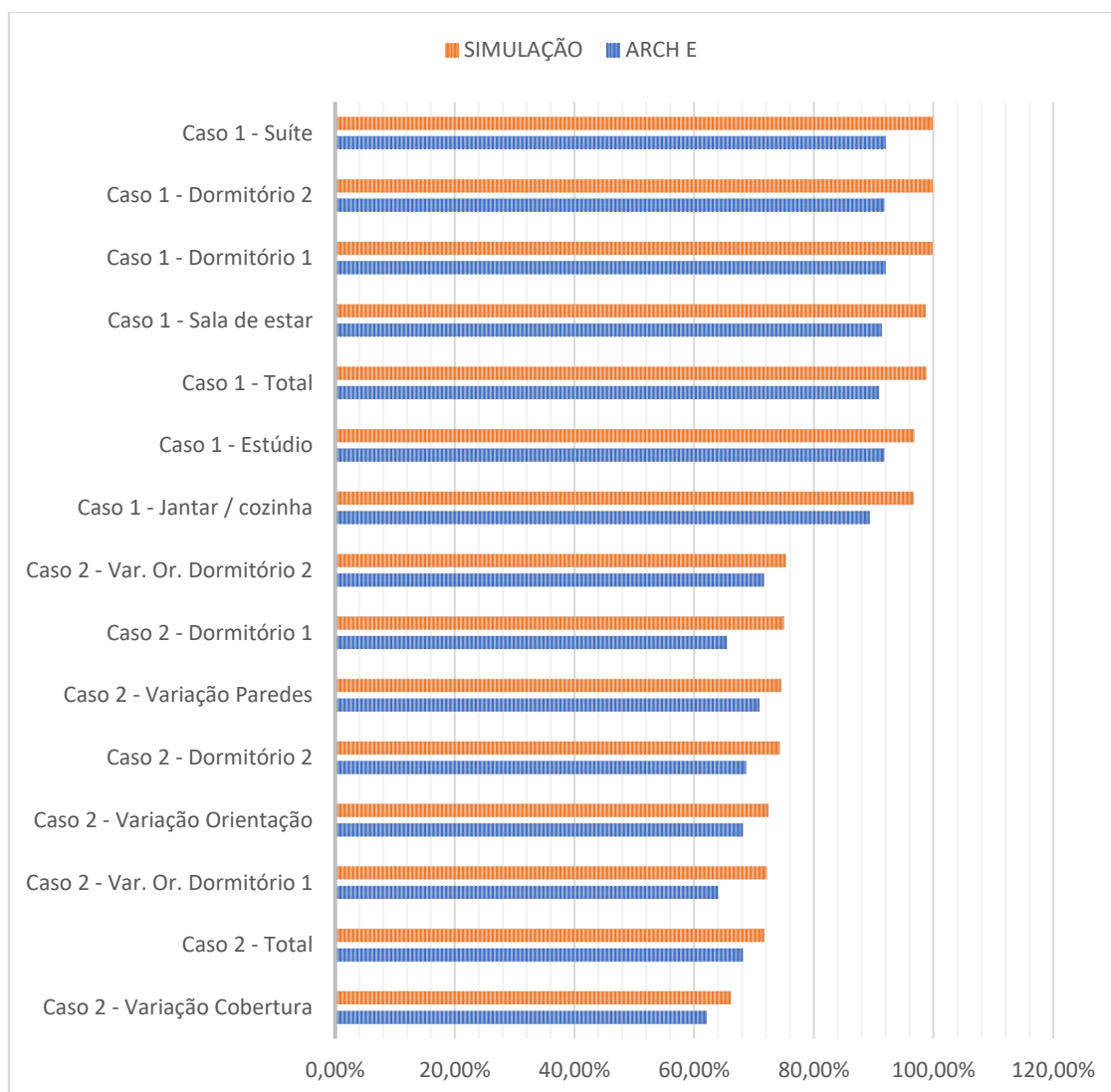
4.4.3. Comparação dos resultados – simulação x ARCH E

Observa-se que a avaliação do programa acompanhou os índices das simulações com pequenas variações. A avaliação geral apresentou variações de

7,91% no Caso 1 e 3,59% no Caso 2. Mesmo nos piores casos a variação foi inferior a 10%.

A variação média, nos casos gerais e por ambiente, foi de 6,24%, indicando que a avaliação qualitativa do programa tende a ser mais rigorosa que a avaliação quantitativa das simulações computacionais. Na Figura 34 são apresentadas todas as avaliações realizadas.

Figura 34: Avaliação geral – simulação X ARCH E.



Fonte: Autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a sintetizar em uma ferramenta computacional o conhecimento produzido por especialistas em eficiência energética e disponibilizá-lo à arquitetos projetistas, estreitando a relação entre a produção teórica da academia e a prática projetual dos arquitetos e urbanistas. Desenvolveu-se uma ferramenta simplificada, alternativa à complexidade dos programas de simulação computacional convencionais. O estudo de referenciais teóricos relacionados aos métodos de projeto foi fundamental para definir a relação do sistema proposto com a atividade projetual, de modo a fornecer subsídios para a tomada de decisão sem restringir os possíveis caminhos do processo criativo.

Através das entrevistas a especialistas na área de conforto térmico, estimou-se, o peso das variáveis arquitetônicas e atribuíram-se notas às decisões tomadas, permitindo que o usuário antecipe soluções que maximizem o desempenho termo-energético ainda nas primeiras etapas de projeto, como proposto nos objetivos da pesquisa.

Os resultados atingidos sustentam a viabilidade de implementação da ferramenta, mas a continuação no desenvolvimento dos estudos é indispensável para o aprimoramento e, conseqüentemente, para uma maior abrangência do sistema proposto. O número de especialistas colaboradores e dos casos utilizados na avaliação devem ser ampliados, e novos métodos de inferência para elaboração dos pesos e das notas podem ser testados, utilizando-se, por exemplo, lógica *fuzzy*.

Não foram utilizados modelos de simulação computacional para avaliação dos pesos das variáveis e das notas. Futuros estudos podem relacionar as variáveis tratadas com o desempenho de modelos simulados por meios estatísticos, afim de validar os resultados dos questionários aplicados aos especialistas.

A associação de soluções técnico construtivas aos valores de transmitância, absorptância e capacidade térmica ampliarão o alcance da ferramenta mesmo a profissionais menos familiarizados com os princípios físicos das trocas térmicas. A apresentação das soluções de projeto através de iconogramas, que nesta etapa foram inviabilizadas por restrições técnicas na implementação do programa, também apontam para uma interface mais amigável ao usuário final. Neste sentido, a implementação do sistema em um aplicativo para smartphones também se apresenta como possível solução, seguindo as tendências tecnológicas atuais.

Um passo imprescindível para a continuação no desenvolvimento do sistema é a utilização da versão criada por arquitetos projetistas. Como usuários finais, eles fornecerão um importante parecer do que foi proposto até o momento, direcionando os futuros estudos e o aprimoramento da ferramenta.

Por fim, a ampliação do recorte definido a outros usos e zonas bioclimáticas também se apresenta como possibilidade para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social**, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ALVARES, C. STAPE, J. SENTELHAS, P. GONÇALVES, J. SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brasil**. Meteorologische Zeitschrift: 2013.

AMARAL, Cláudio. **Descartes e a caixa preta no ensino-aprendizagem da arquitetura**. Portal Vitruvius Arquitectos 090.07. Ano 08. Nov. 2007

AMORIM, Cláudia N. D. **Diagrama morfológico parte 1: instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural**. In: Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, número 3, pág. 57-76. Brasília: UNB, 2007.

AMORIM, Cláudia N. D. **Diagrama morfológico parte 2 - projetos exemplares para a luz natural: treinando o olhar e criando repertório.** In: Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, número 3, pág. 77-97. Brasília: UNB, 2007.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy.** ASHRAE: Atlanta, 2004.

AZEVEDO, S. **Desmistificando os sistemas especialistas.** Pelotas: Ed. Universitária / UFPel, 1999.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A. STEEMERS, K. **Daylighting in architecture: a European reference book.** James and James, Londres, 1993.

BISELLI, M. **Teoria e prática do partido arquitetônico.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

BROADBENT, G. **Design in architecture; architecture and human sciences.** London: John Wiley & Sons, 1970.

BAUER, M. GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático.** 12ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

BUCHANAN, Richard. **Wicked Problems in Design Thinking.** Design Issues, Vol. 8, No. 2, (Spring, 1992), pp. 5-21

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** - 2ª ed. - Rio de Janeiro: Revan, 2009.

CUNHA, Eduardo G. da. **A cobertura nos edifícios de grandes vãos: uma proposta de ferramenta de apoio.** Tese (Doutorado em arquitetura) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

KOWALTOWSKY, D. MOREIRA, D. PETRECHE, J. FABRICIO, M. **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKY, D. CELANI, M. MOREIRA, D. PINA, S. RUSCHEL, R. SILVA, V. LABAKI, L. PETRECHE, J. **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico.** Porto Alegre: Ambiente Construído, 2006.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Ed. ProLivros, São Paulo, 2001.

LAMBERTS, R. BOGO, A. PIETROBON, C. BARBOSA, M. GOULART, S. PITTA, T. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** Florianópolis: UFSC, 1994.

LAMBERTS, R. WESTPHAL, F. MENTES, N. NETO, J. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Porto Alegre: Ambiente Construído, 2005.

LAWSON, B. **How designers think: the design process demystified.** Oxford: Elsevier, 2005.

LAWSON, B. **What designers know.** Oxford: Architectural Press. 2004.

MAHFUZ, E. **Ensaio sobre a razão compositiva: uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica.** Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.

MARAVASTI, Amir B. **Qualitative Research in Sociology: an Introduction.** Londres: 2004.

MARTINEZ, Alfonso Corona. **Ensaio sobre o projeto.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000.

MENDES, N. WESTPHAL, F. LAMBERTS, R. NETO, J. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Porto Alegre: Ambiente Construído, 2005.

MOURSHED, M.KELLIHER, D. KEANE, M. **Integrating building energy simulation in design process.** IBPSA News, 2003.

OLIVEIRA, Liader. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2.** 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

OLGYAY, V. **Design with climate, bioclimatic approach to architecture regionalism.** Princeton University, New Jersey, 1963.

PEEL, M. FINLAYSON, B. MCMAHON, T. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.** Hydrol. Earth Syst Sci, 2007.

POTTS, K. F. **Construction cost management: learning from case studies.** Nova Iorque: 2008.

POUEY, J. A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional.** 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

QUINTANILHA, R. **Metodologia de projeto em arquitetura: do objeto ao sujeito.** Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão. Presidente Prudente, 2013.

REZENDE, Solange. **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações.** Barueri, SP: Manole, 2005.

SERRA, Rafael. **Clima, Lugar y Arquitectura: Manual de diseño bioclimático.** Espanha: Ciemat. 1989.

SILVA, A. C. S. B.; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentíceas em zona bioclimática 2 (verão).** In: 12º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

SILVA, A. C. S. B.; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas**

cimentícias em zona bioclimática 2 (inverno). In: 13º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010.

SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação.** Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SILVA, A. GHISI, E. **Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R.** Ambiente Construído: Porto alegre, 2013.

VENANCIO, R. PEDRINI, A. VAN DER LINDEN, A. C. VAN DEN HAM, E, STOUFFS, R. **Think designerly! using multiple simulation tools to solve architectural problems.** Proceedings of Building Simulation: Sydney, 2011.

VON MEUSEL, M. **A simulação computacional de desempenho integrada às etapas iniciais do processo de projeto.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). UFSC, 2016.

YILDIZ, Y. ARSAN, Z. **Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates.** Elsevier, 2010.

ANEXO A – Dados climáticos detalhados

A seguir são apresentados os dados climáticos detalhados para a cidade de Pelotas, utilizados para a definição do clima local e das estratégias bioclimáticas indicadas.

Na Tabela X são apresentados os dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais para a latitude 30° sul. Pelotas localiza-se na latitude 32° sul, mas FROTA e SCHIFFER (2001) apontam que não há desvios significativos na incidência de radiação em variações de latitude de até 3°.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO), normais climatológicas são valores médios de parâmetros meteorológicos calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas. São dados simplificados, médias extraídas de dados climáticos horários que contém informações para as 8.760 horas do ano. Na Tabela 2, são apresentadas as normais climatológicas de Pelotas, entre os anos de 1971 a 2000, disponibilizadas pelo Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

Tabela A1 - Dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais, latitude 30°S.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142	
SE	330	563	586	502	345	116	65	68	63	58	50	43	25	
E	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25	
NE	165	357	456	475	422	311	146	68	63	58	50	43	25	
N	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25	
NW	25	43	50	58	63	68	146	311	422	475	456	357	165	
W	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340	
SW	25	43	50	58	63	68	65	116	345	502	586	563	330	
H	114	345	588	804	985	1099	1134	1099	985	804	588	345	114	

S	0	28	45	50	58	63	63	63	58	50	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	16	270	351	261	101	63	63	63	58	50	45	28	0	
E	23	421	651	649	518	309	63	63	58	50	45	28	0	
NE	16	343	596	686	666	565	406	216	58	50	45	28	0	
N	0	80	219	347	458	526	548	526	458	347	219	80	0	
NW	0	28	45	50	58	216	406	565	666	686	596	343	16	
W	0	28	45	50	58	63	63	309	518	649	651	421	23	
SW	0	28	45	50	58	63	63	63	101	261	351	270	16	
H	0	144	388	617	808	928	964	928	808	617	388	144	0	

S	—	3	23	38	45	50	50	50	45	38	23	3	—	junho 21
SE	—	14	72	38	45	50	50	50	45	38	23	3	—	
E	—	35	278	429	387	244	50	50	45	38	23	3	—	
NE	—	37	333	602	682	641	524	364	198	48	23	3	—	
N	—	20	207	445	604	691	720	691	604	445	207	20	—	
NW	—	3	23	48	198	364	524	641	682	602	333	37	—	
W	—	3	23	38	45	50	50	244	387	429	278	35	—	
SW	—	3	23	38	45	50	50	50	45	38	72	14	—	
H	—	6	101	280	446	558	594	558	446	280	101	6	—	

Fonte: FROTA e SCHIFFER (2001).

Tabela A2 – Normais climatológicas, período 1971 / 2000.

Normais Climatológicas Período: 1971/2000 (Mensal/Anual) Estação Agroclimatológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel) Convênio Embrapa/UFPel/INMET													
Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temperatura Média (°C)	23,2	23,0	21,7	18,5	15,1	12,4	12,3	13,4	14,9	17,5	19,6	22,0	17,8
Temperatura Média das Mínimas (°C)	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7	13,8
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	10,0	9,8	5,0	2,7	1,2	-3,0	-2,7	-1,0	0,2	2,6	6,0	7,9	-3,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	28,2	27,9	26,9	24,0	20,8	17,8	17,5	18,6	19,6	22,2	24,6	27,1	22,9
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	39,0	36,5	37,4	35,1	31,6	29,4	31,8	33,0	35,6	34,4	39,2	39,6	39,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	119,1	153,3	97,4	100,3	100,7	105,7	146,0	117,4	123,7	100,7	99,5	103,2	1366,9
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	82,0	188,2	126,8	134,0	86,0	95,0	109,8	92,2	92,0	74,7	81,6	152,0	188,2
Número de dias de Precipitação	11,7	11,5	10,3	8,9	9,2	10,5	11,4	9,7	10,8	10,6	10,0	9,5	124,1
Umidade Relativa (%)	77,4	79,9	80,5	82,3	83,6	84,0	84,9	83,2	81,8	79,5	76,0	75,5	80,7
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	205,3	161,0	149,3	106,2	71,9	56,5	62,0	76,9	100,8	143,9	179,6	215,6	1529,1
Evaporação Piche (mm)	161,4	123,8	123,7	95,4	74,6	61,0	63,8	78,2	96,8	126,2	149,9	168,8	1323,6
Evapotranspiração Potencial (mm)	153,4	121,3	111,1	75,0	51,1	36,8	40,1	54,0	72,4	103,7	130,4	153,7	1103,1
Insolação Total (horas e décimos)	251,2	204,7	213,0	189,5	177,7	146,2	149,9	160,8	161,5	199,6	234,5	265,9	196,2
Radiação Solar Global (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	498,2	439,3	377,3	297,2	225,7	184,0	190,0	238,8	299,2	385,9	478,2	524,1	344,8
Nebulosidade (0-10)	5,7	5,9	5,6	5,3	5,5	6,0	6,3	6,3	6,4	6,1	5,8	5,4	5,9
Pressão Barométrica (mb)	1011,4	1012,7	1013,9	1015,2	1016,6	1017,4	1018,6	1018,2	1017,7	1015,4	1013,1	1011,5	1015,1
Velocidade Média do Vento (m.s ⁻¹)	3,9	3,6	3,2	3,0	2,7	2,8	3,0	3,2	4,0	4,2	4,2	4,0	3,5
Direção Predominante do Vento	NE	E	E	SW	SW	SW	NE	NE	NE	E	E	E	E
Velocidade Máxima do Vento (m.s ⁻¹)	23,0	25,2	25,0	25,5	23,5	26,0	23,0	28,0	30,0	27,2	26,2	27,2	30,0
Direção do Vento na Velocidade Máxima	SW	S	SW	SW	NE	S	SW	NE	NE	NE	S	SW	NE
Número de Dias de Geadas	0,0	0,0	0,0	0,4	3,2	6,5	5,7	4,7	2,7	0,7	0,1	0,0	23,9
Número de Dias de Granizo	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	1,6
Número de Dias de Orvalho	11,1	11,4	12,5	9,7	7,5	4,8	3,9	5,6	6,3	9,1	10,2	11,6	103,2
Número de Dias de Neveiro	2,0	3,0	5,1	9,2	10,3	8,3	9,8	9,5	5,6	3,2	1,7	1,8	64,2

Fonte: EMBRAPA, 2016.

ANEXO B – Etapas de projeto, segundo a NBR 13532/1995 (ABNT, 1995).

A seguir são indicadas as etapas de projeto propostas pela NBR 13532 e resumidas as principais informações técnicas a serem produzidas em cada uma delas.

a) Levantamento de dados para Arquitetura (LV-ARQ):

Registros de vistorias no local da futura edificação, legislação municipal (recuos, coeficientes de construção, taxa de ocupação e gabaritos), serviços públicos (água potável, esgoto sanitário, escoamento pluvial, energia elétrica, coleta de lixo e pavimentação), orientação solar, direção e sentido dos ventos dominantes, edificações existentes no terreno, área de construção e características arquitetônicas e construtivas.

b) Programa de necessidades de Arquitetura (PN-ARQ):

Informações necessárias à concepção arquitetônica da edificação e aos serviços de obra, como nome, número e dimensões dos ambientes, características, exigências, número, idade e permanência dos usuários em cada ambiente.

Características funcionais ou das atividades em cada ambiente (ocupação, capacidade, movimentos, fluxos e períodos);

Características, dimensões e serviços do equipamentos e mobiliário; exigências ambientais, níveis de desempenho; instalações especiais (elétricas, mecânicas, hidráulicas e sanitárias).

c) Estudo de Viabilidade de Arquitetura (EV-ARQ):

Definição da metodologia empregada, de soluções alternativas (físicas e jurídico-legais), conclusões e recomendações.

d) Estudo Preliminar de Arquitetura (EP-ARQ):

Informações para a caracterização geral da concepção adotada, incluindo indicações das funções, dos usos, das formas, das dimensões, das localizações dos ambientes da edificação e de quaisquer outras exigências prescritas ou de desempenho.

Caracterização dos elementos construtivos e dos seus componentes principais, incluindo indicações das tecnologias recomendadas.

Soluções alternativas gerais e especiais, suas vantagens e desvantagens, de modo a facilitar a seleção subsequente.

e) Anteprojeto de Arquitetura (AP-ARQ);

Informações técnicas relativas à edificação (ambientes interiores e exteriores), a todos os elementos da edificação e a seus componentes construtivos considerados relevantes.

f) Projeto Legal de Arquitetura (PL-ARQ);

Informações necessárias e suficientes ao atendimento das exigências legais para os procedimentos de análise e de aprovação do projeto legal e da construção, incluindo os órgãos e serviços públicos (departamento de obras e urbanismo municipais, conselhos de patrimônio artístico e histórico, autoridades de proteção do meio ambiente e departamento de aeronáutica civil).

g) Projeto para Execução de Arquitetura (PE-ARQ).

Detalhamentos técnicos de implantação, terraplenagem e coberturas, de ambientes especiais (banheiros, cozinhas, lavatórios, oficinas e lavanderias) e de elementos da edificação e seus componentes construtivos (portas, janelas,

bancadas, grades, forros, beirais, parapeitos, pisos, revestimentos e seus encontros, impermeabilizações e proteções).

ANEXO C – Planilhas auxiliares

A seguir são apresentadas as planilhas complementares utilizadas para elaboração do programa. O Quadro C1 apresenta os dados completos relativos à media final das notas e pesos utilizados no banco de dados, bem como as notas atribuídas pelos nove especialistas consultados. Em negrito são indicados os quatro especialistas que foram utilizados para cálculo dos pesos e médias finais. Os pesos apresentados são relativos aos valores finais. Os valores referentes a cada especialista são apresentados no Quadro 12.

O Quadro C2 apresenta esquematicamente as regras e os nomes atribuídos a cada parâmetro (sem caracteres especiais, espaços e acentos) para elaboração do código do programa, com as notas a serem obtidas em cada caso.

No Quadro C3 são apresentadas as equações utilizadas para cálculo das notas parciais e finais.

Quadro C1 – Banco de dados com as respostas dos nove especialistas entrevistados.

3 IMPLANTAÇÃO, TRAÇADO E VOLUMETRIA																		
c o d	peso	parâmetro	c o d	peso	opções		FINAL	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9		
3 A	0,283	Implantação	3A1		Em linha, maiores fachadas norte-sul		9,00	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
			3A2		Em linha, maiores fachadas leste-oeste		2,16	1	1	1	5	3	1	5	3	5		
			3A3		Em linha, outras orientações		5,58	5	5	5	3	5	5	7	5	5		
			3A4		Compacta		5,08	3	5	7	7	9	5	7	1	9		
			3A5		Compacta, com pátio(s) interno(s)		4,95	1	9	7	9	5	1	9	5	7		
3 B	0,236	Forma geral (volumetria)	3B1		Forma compacta (prismática)		8,19	9	5	9	5	9	9	9	5	7		
			3B2		Forma complexa		5,89	3	9	5	9	5	5	7	9	3		
3 C	0,243	Relação com o solo	3C1		Edificação semi-enterrada	3C1-1	Argila	3,56	1	5	9	5	5	1	7	5	3	
						3C1-2	Areia	6,59	9	5	7	3	5	5	7	5	5	
						3C1-3	Saibro	5,58	5	5	9	5	5	5	7	5	3	
						3C1-4	Rocha	8,19	9	5	3	1	5	9	9	9	7	
			3C2		Edificação em contato com o solo	3C2-1	Argila	5,15	3	5	9	7	7	3	9	5	7	
						3C2-2	Areia	7,68	7	5	3	7	7	9	9	7	7	
						3C2-3	Saibro	7,68	7	5	5	7	7	9	9	9	7	
						3C2-4	Rocha	7,18	7	5	9	3	9	7	9	7	5	
			3C3		Edificação elevada do solo	3C3-1	Argila	5,99	3	7	9	7	9	7	7	5	3	
						3C3-2	Areia	5,48	3	7	9	7	9	5	7	5	3	
						3C3-3	Saibro	5,99	3	7	9	7	9	7	7	5	3	
						3C3-4	Rocha	6,57	3	7	9	7	9	7	9	5	3	
			3C4		Edificação elevada do solo com isolamento	3C4-1	Argila	7,68	7	5	9	9	7	9	9	5	7	
						3C4-2	Areia	7,68	7	5	9	9	7	9	9	5	7	
						3C4-3	Saibro	7,68	7	5	9	9	7	9	9	7	7	
						3C4-4	Rocha	7,68	7	5	9	9	7	9	9	9	7	
			3C5		Edificação elevada do solo com porão ventilado	3C5-1	Argila	6,49	3	7	9	9	7	9	7	5	3	
						3C5-2	Areia	6,49	3	7	7	9	7	9	7	5	3	
						3C5-3	Saibro	6,49	3	7	9	9	7	9	7	5	3	
						3C5-4	Rocha	7,08	3	7	7	9	7	9	9	9	3	
			3C6		Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado	3C6-1	Argila	7,61	9	5	9	9	9	9	7	5	7	
						3C6-2	Areia	7,10	7	5	9	9	9	9	7	5	7	
						3C6-3	Saibro	7,61	9	5	9	9	9	9	7	5	7	
						3C6-4	Rocha	7,68	7	5	9	9	9	9	9	5	7	
3 D	0,238	Afastamento das divisas	3 D 1	0,399	Nor te	Pavime nto térreo	3D1-1-1	0 < αN < 30	9,00	9	9	9	5	9	9	9	9	
							3D1-1-2	30 < αN < 45	7,41	5	9	7	5	9	9	7	7	7
							3D1-1-3	45 < αN < 60	5,91	3	7	7	3	7	9	5	5	5
							3D1-1-4	60 < αN < 75	4,09	1	3	5	3	5	7	5	3	3
							3D1-1-5	75 < αN < 90	3,10	1	1	1	3	3	7	3	1	1
							3D1-1-6	αN = 90	2,52	1	1	1	3	1	7	1	1	1
						Pavime nto superio r	3D1-2-1	0 < αN < 30	9,00	9	9	9	5	9	9	9	9	7
							3D1-2-2	30 < αN < 45	7,41	5	9	9	5	7	9	7	7	5
							3D1-2-3	45 < αN < 60	4,90	1	7	7	3	5	7	5	5	3
							3D1-2-4	60 < αN < 75	4,09	1	3	7	3	3	7	5	3	

			3 D 2	0,154	Sul	Pavime nto térreo	3D1-2-5	75 < αN < 90	3,10	1	1	1	3	1	7	3	1	1
							3D1-2-6	αN = 90	2,52	1	1	1	3	1	7	1	1	1
							3D2-1-1	0 < αN < 30	4,65	9	9	9	7	9	1	1	5	5
							3D2-1-2	30 < αN < 45	4,14	7	9	9	7	7	1	1	5	5
							3D2-1-3	45 < αN < 60	3,23	5	7	5	3	5	1	1	5	5
							3D2-1-4	60 < αN < 75	3,23	3	7	5	3	3	3	1	5	5
							3D2-1-5	75 < αN < 90	2,32	1	5	5	3	1	3	1	5	5
							3D2-1-6	αN = 90	2,32	1	5	3	3	1	3	1	5	1
						Pavime nto superio r	3D2-2-1	0 < αN < 30	6,67	9	9	9	7	9	9	1	5	5
							3D2-2-2	30 < αN < 45	6,16	7	9	7	7	7	9	1	5	5
							3D2-2-3	45 < αN < 60	4,75	5	7	5	3	7	7	1	5	5
							3D2-2-4	60 < αN < 75	4,24	3	7	3	3	7	7	1	5	5
							3D2-2-5	75 < αN < 90	3,33	1	5	1	3	7	7	1	5	5
							3D2-2-6	αN = 90	3,33	1	5	1	3	7	7	1	5	1
			3 D 3	0,267	Les te	Pavime nto térreo	3D3-1-1	0 < αN < 30	9,00	9	9	1	5	1	9	9	9	9
							3D3-1-2	30 < αN < 45	6,82	5	9	1	5	1	9	5	7	7
							3D3-1-3	45 < αN < 60	5,91	3	7	3	5	3	9	5	5	5
							3D3-1-4	60 < αN < 75	3,91	1	5	5	5	5	7	3	3	5
							3D3-1-5	75 < αN < 90	3,10	1	1	7	5	7	7	3	1	3
							3D3-1-6	αN = 90	3,03	1	1	9	5	9	9	1	1	1
					Pavime nto superio r	3D3-2-1	0 < αN < 30	7,84	9	9	1	5	9	9	5	9	9	
						3D3-2-2	30 < αN < 45	6,82	5	9	3	5	7	9	5	7	7	
						3D3-2-3	45 < αN < 60	4,82	1	7	3	5	7	9	3	5	5	
						3D3-2-4	60 < αN < 75	3,91	1	5	7	5	5	7	3	3	5	
						3D3-2-5	75 < αN < 90	2,52	1	1	9	5	5	7	1	1	3	
						3D3-2-6	αN = 90	3,03	1	1	9	5	5	9	1	1	1	
			3 D 4	0,18	Oe ste	Pavime nto térreo	3D4-1-1	0 < αN < 30	7,25	9	9	1	5	9	9	3	9	9
							3D4-1-2	30 < αN < 45	7,33	7	9	3	5	7	9	5	7	7
							3D4-1-3	45 < αN < 60	6,82	5	9	5	5	9	9	5	5	5
							3D4-1-4	60 < αN < 75	5,73	5	9	5	7	7	7	3	5	5
							3D4-1-5	75 < αN < 90	4,42	3	5	9	7	5	7	3	5	3
							3D4-1-6	αN = 90	3,43	1	3	7	7	3	9	1	5	1
						Pavime nto superio r	3D4-2-1	0 < αN < 30	7,25	9	9	1	5	1	9	3	9	9
							3D4-2-2	30 < αN < 45	7,33	7	9	3	5	5	9	5	7	7
							3D4-2-3	45 < αN < 60	6,82	5	9	3	5	7	9	5	5	5
							3D4-2-4	60 < αN < 75	5,73	5	9	5	7	7	7	3	5	5
							3D4-2-5	75 < αN < 90	3,91	1	5	7	7	7	7	3	5	3
							3D4-2-6	αN = 90	3,43	1	3	5	7	7	9	1	5	1
4 ENVOLTÓRIA																		
c o d	peso	parâmetro	c o d	peso	opções			FINAL	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	
4 A	0,122	Estrutura	4A1		Concreto armado	4A1-1	Sem pontes térmicas	7,00	9	7	9	9	9	9	5	7	7	5
						4A1-2	Com pontes térmicas	3,00	3	5	5	3	3	9	5	1	3	
			4A2		Blocos cerâmicos auto-portantes			8,09	7	7	9	7	7	9	9	7	7	
			4A3		Metálica	4A3-1	Sem pontes térmicas	5,91	9	7	5	9	9	9	3	5	9	5

					4A3-2	Com pontes térmicas		2,00	1	3	7	1	1	7	3	1	5
			4A4	Madeira				8,19	9	5	9	9	9	9	9	9	7
4 B	0,259	Paredes	4 B 1	0,654	Composição	Transmissão	4B1-1-1	U<1,5	9,00	9	9	9	9	9	9	9	9
							4B1-1-2	1,5<U<2,0	7,41	7	9	7	7	7	7	7	7
							4B1-1-3	U>2,0	3,99	1	5	1	1	1	5	5	1
						Capacidade Térmica	4B1-2-1	CT<130	6,09	7	5	5	7	7	5	7	5
							4B1-2-2	CT>130	7,58	7	7	7	7	7	7	9	7
			4 B 2	0,346	Cor	Tons claros	4B2-1-1	$\alpha < 0,4$	8,49	7	9	9	7	7	9	9	7
						Tons médios	4B2-1-2	$0,4 < \alpha < 0,7$	6,09	5	5	7	5	5	7	7	5
						Tons escuros	4B2-1-3	$\alpha > 0,7$	3,68	3	1	1	3	3	5	5	3
			4 C 1	0,604	Composição		4C1-1	U<1,5	9,00	9	9	9	9	9	9	9	9
							4C1-2	1,5<U<2,0	7,41	5	9	7	5	5	9	7	5
							4C1-3	U>2,0	3,99	1	5	1	1	1	5	5	1
						Cor	Tons claros	4C2-1-1	$\alpha < 0,4$	9,00	9	9	9	9	9	9	9
							Tons médios	4C2-1-2	$0,4 < \alpha < 0,7$	6,19	7	3	5	7	7	7	7
							Tons escuros	4C2-1-3	$\alpha > 0,7$	4,19	5	1	1	5	5	5	5
4 C	0,334	Cobertura	4 D 1	0,179	Composição		4D1-1	PVC	7,61	9	5	9	9	9	9	7	9
							4D1-2	Madeira	7,58	7	7	9	7	7	7	9	7
							4D1-3	Metálica	3,81	1	7	7	1	1	5	3	1
			4 D 2	0,231	Área de aberturas por área de fachada	Norte	4D2-1-1	<20%	5,08	5	5	5	5	5	3	7	5
							4D2-1-2	20 - 40%	7,48	7	9	9	7	7	5	9	3
							4D2-1-3	>40%	7,03	9	5	1	9	9	9	5	7
						Sul	4D2-2-1	<20%	6,67	9	5	1	9	9	3	9	5
							4D2-2-2	20 - 40%	5,84	5	7	3	5	5	9	3	7
							4D2-2-3	>40%	3,23	1	7	9	1	1	5	1	5
						Leste	4D2-3-1	<20%	5,56	3	7	9	3	3	3	9	3
							4D2-3-2	20 - 40%	7,43	9	7	3	9	9	9	5	5
							4D2-3-3	>40%	2,82	1	5	1	1	1	5	1	9
						Oeste	4D2-4-1	<20%	7,43	9	7	9	9	9	9	5	3
							4D2-4-2	20 - 40%	5,43	5	5	1	5	5	9	3	5
							4D2-4-3	>40%	2,01	1	1	1	1	1	5	1	7
			4 D 3	0,202	Áreas aberturas para ventilação por área de fachada	Norte	4D3-1-1	<10%	5,08	5	5	7	5	5	3	7	5
							4D3-1-2	10 - 20%	7,08	7	7	5	7	7	5	9	5
							4D3-1-3	>20%	8,01	9	7	3	9	9	9	7	5
						Sul	4D3-2-1	<10%	6,01	9	5	5	9	9	5	5	5
							4D3-2-2	10 - 20%	5,33	5	7	7	5	5	7	3	7
							4D3-2-3	>20%	2,72	1	7	5	1	1	3	1	5
						Leste	4D3-3-1	<10%	4,49	3	5	5	3	3	5	5	3
							4D3-3-2	10 - 20%	7,51	9	7	3	9	9	7	7	5
							4D3-3-3	>20%	5,41	1	7	5	1	1	9	5	5
						Oeste	4D3-4-1	<10%	6,01	9	5	5	9	9	5	5	5
							4D3-4-2	10 - 20%	6,49	5	7	7	5	5	7	7	5
							4D3-4-3	>20%	5,41	1	7	5	1	1	9	5	5

			4 D 4	0,214	Vidro	4D4-1	Simple	3,99	1	5	7	5	3	5	5	1	5
						4D4-2	Duplo	9,00	9	9	9	7	9	9	9	5	7
			4 D 5	0,175	Estanqueidade	4D5-1	Muito estanque	8,59	9	7	9	3	9	9	9	9	7
						4D5-2	Pouco estanque	3,99	1	5	7	7	1	5	5	7	3
5 AMBIENTES INTERNOS																	
c o d	peso	parâmetro	c o d	peso	opções			FINAL	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9
5 A	0,116	Piso	5 A 1	0,563	Pis o em con tato co m o sol o	Transm itância	5A1-1-1	U<1,5	7,99	5	9	7	5	9	9	9	5
							5A1-1-2	1,5<U<2,0	7,58	7	7	7	7	9	7	9	5
							5A1-1-3	U>2,0	6,59	9	5	9	9	7	5	7	7
						Capaci dade Térmic a	5A1-2-1	CT<130	6,09	3	5	3	3	7	9	7	1
							5A1-2-2	CT>130	7,58	9	7	7	9	5	5	9	3
			5 A 2	0,437	Pis o se m con tato co m o sol o	Transm itância	5A2-1-1	U<1,5	7,58	9	7	9	9	9	5	9	7
							5A2-1-2	1,5<U<2,0	7,58	7	7	7	7	7	9	7	7
							5A2-1-3	U>2,0	3,96	1	7	3	1	5	1	7	5
						Capaci dade Térmic a	5A2-2-1	CT<130	4,57	3	5	5	3	7	3	7	3
							5A2-2-2	CT>130	8,59	9	7	7	9	7	9	9	5
5 B	0,237	Paredes externas	5 B 1	0,323	Co mp osiç ão	Transm itância	5B1-1-1	U<1,5	8,49	9	9	9	9	9	7	9	9
							5B1-1-2	1,5<U<2,0	7,58	7	7	5	7	7	7	9	9
							5B1-1-3	U>2,0	3,56	1	5	7	1	5	1	7	5
						Capaci dade Térmic a	5B1-2-1	CT<130	6,59	7	5	5	7	7	7	3	5
							5B1-2-2	CT>130	6,57	5	7	7	5	5	5	9	3
			5 B 2	0,208	Cor	Tons claros	5B2-1-1	$\alpha < 0,4$	8,24	7	9	9	7	9	8	9	7
						Tons médios	5B2-1-2	$0,4 < \alpha < 0,7$	8,01	9	7	7	9	7	9	7	7
						Tons escuros	5B2-1-3	$\alpha > 0,7$	2,57	1	3	3	1	5	1	5	7
			5 B 3	0,469	Orientação	5B3-1	Norte	8,49	9	9	9	9	9	7	9	9	9
						5B3-2	Nordeste	7,99	7	9	9	7	9	7	9	9	7
						5B3-3	Leste	5,99	5	7	3	5	7	5	7	7	5
						5B3-4	Sudeste	2,97	1	5	5	1	5	1	5	7	3
						5B3-5	Sul	2,39	1	5	9	1	3	1	3	7	1
						5B3-6	Sudoeste	2,39	1	5	1	1	1	1	3	1	3
						5B3-7	Oeste	3,58	3	3	1	3	3	3	5	3	5
						5B3-8	Noroeste	6,77	7	3	1	7	5	7	9	3	7
5 C	0,358	Cobertura	5 C 1	0,592	Composição	5C1-1	U<1,5	8,49	9	9	9	9	9	7	9	9	7
						5C1-2	1,5<U<2,0	7,58	7	7	7	7	7	7	9	7	7
						5C1-3	U>2,0	3,15	1	3	1	1	3	1	7	5	3
			5 C 2	0,408	Cor	Tons claros	5C2-1	$\alpha < 0,4$	8,75	9	9	9	9	9	8	9	7
						Tons médios	5C2-1	$0,4 < \alpha < 0,7$	6,59	7	5	5	7	7	7	9	7
						Tons escuros	5C2-1	$\alpha > 0,7$	4,19	5	1	1	5	3	5	5	7
5 D	0,289	Aberturas	5 D 1	0,138	Áre a tran slúc ida	Norte	5D1-1-1	<20%	7,08	5	7	7	5	5	7	9	5
							5D1-1-2	20 - 50%	7,99	7	9	7	7	7	7	9	3
							5D1-1-3	50 - 80%	7,20	9	3	5	9	9	9	7	7

				por área de paredes		5D1-1-4	>80%	4,19	5	1	3	5	9	5	5	5	7
					Sul	5D1-2-1	<20%	7,03	9	5	9	9	7	9	5	3	7
						5D1-2-2	20 - 50%	4,82	5	7	9	5	7	5	3	5	5
						5D1-2-3	50 - 80%	1,81	1	5	9	1	5	1	1	7	3
						5D1-2-4	>80%	1,00	1	1	9	1	3	1	1	3	1
					Leste	5D1-3-1	<20%	4,97	3	7	3	3	7	3	7	1	1
						5D1-3-2	20 - 50%	6,39	5	9	3	5	5	5	7	5	7
						5D1-3-3	50 - 80%	3,58	3	3	5	3	3	3	5	7	5
						5D1-3-4	>80%	1,58	1	1	1	1	1	1	3	3	3
					Oeste	5D1-4-1	<20%	8,01	9	7	1	9	9	9	7	1	1
						5D1-4-2	20 - 50%	5,00	5	5	1	5	5	5	5	7	7
						5D1-4-3	50 - 80%	1,00	1	1	1	1	1	1	1	5	5
						5D1-4-4	>80%	1,00	1	1	1	1	1	1	1	3	3
		5 D 2	0,175	Área efetiva para ventilação por área de paredes	Norte	5D2-1-1	<20%	6,24	3	7	9	3	3	8	7	3	3
						5D2-1-2	20 - 50%	7,58	7	7	7	7	7	7	9	3	7
						5D2-1-3	50 - 80%	7,03	9	5	7	9	9	9	5	5	7
						5D2-1-4	>80%	5,61	7	3	9	7	7	7	5	5	5
					Sul	5D2-2-1	<20%	7,43	9	7	7	9	9	9	5	1	7
						5D2-2-2	20 - 50%	5,84	7	7	5	7	7	7	3	5	5
						5D2-2-3	50 - 80%	1,81	1	5	3	1	1	1	1	7	5
						5D2-2-4	>80%	1,41	1	3	7	1	1	1	1	3	3
					Leste	5D2-3-1	<20%	7,00	7	7	5	7	7	7	7	1	3
						5D2-3-2	20 - 50%	8,01	9	7	3	9	9	9	7	5	7
						5D2-3-3	50 - 80%	5,00	5	5	7	5	5	5	5	5	5
						5D2-3-4	>80%	1,99	1	3	5	1	1	1	3	5	3
					Oeste	5D2-4-1	<20%	8,01	9	7	7	9	9	9	7	5	3
						5D2-4-2	20 - 50%	5,99	5	7	5	5	5	5	7	5	7
						5D2-4-3	50 - 80%	2,97	1	5	1	1	1	1	5	5	5
						5D2-4-4	>80%	1,99	1	3	7	1	1	1	3	5	3
		5 D 3	0,218	Proteção solar		5D3-1	Período + quente verão	8,51	9	9	7	9	9	7	9	9	9
						5D3-2	Todo o ano	2,97	1	5	3	1	1	1	5	9	7
		5 D 4	0,145	Composição		5D4-1	PVC	7,61	9	5	7	9	9	9	7	9	9
						5D4-2	Madeira	7,58	7	7	7	7	7	7	9	7	7
						5D4-3	Metálica	3,38	1	7	3	1	1	1	5	7	5
		5 D 5	0,162	Vidro		5D5-1	Simples	4,75	1	5	7	1	1	8	5	1	5
						5D5-2	Duplo	9,00	9	9	9	9	9	9	9	3	9
		5 D 6	0,162	Estanqueidade		5D6-1	Muito estanque	8,59	9	7	7	9	9	9	9	9	9
						5D6-2	Pouco estanque	2,97	1	5	5	1	1	1	5	7	3

Fonte: Autor.

Quadro C2 – Nomes dos parâmetros utilizados no código do programa e notas a serem obtidas.

parâmetro	opção	parâmetro	opção	nota			
[implantacao] Implantação	[linha_norte-sul] Em linha, maiores fachadas norte-sul			nota_implantacao			
	[linha_este-oeste] Em linha, maiores fachadas leste-oeste						
	[linha_outras] Em linha, outras orientações						
	[compacta] Compacta						
	[compacta_patios] Compacta, com pátio(s) interno(s)						
[forma] Forma geral	[compacta] Forma compacta (prismática)			nota_forma			
	[complexa] Forma complexa						
[relacao_solo] Relação com o solo	[semi-enterrada] Edificação semi-enterrada	[tipo_solo] Tipo de solo	[argila] Argila	nota_relacao_solo			
			[areia] Areia				
	[em_contato] Edificação em contato com o solo		[saibro] Saibro				
			[rocha] Rocha				
	[elevada] Edificação elevada do solo		[argila] Argila				
			[areia] Areia				
	[elevada_isolamento] Edificação elevada do solo com isolamento		[saibro] Saibro				
			[rocha] Rocha				
	[elevada_porao] Edificação elevada do solo com porão ventilado		[argila] Argila				
			[areia] Areia				
	[elevada_isol_porao] Edificação elevada do solo com isolamento e porão ventilado		[saibro] Saibro				
			[rocha] Rocha				
	[afast_norte_ter] Afastamento das divisas - Norte - Térreo		[0-30] $0 < \alpha < 30$				nota_afast_norte_ter
			[30-45] $30 < \alpha < 45$				
			[45-60] $45 < \alpha < 60$				
			[60-75] $60 < \alpha < 75$				
[75-90] $75 < \alpha < 90$							
[90] $\alpha = 90$							
[afast_norte_sup] Afastamento das divisas - Norte - Superior	[0-30] $0 < \alpha < 30$			nota_afast_norte_sup			
	[30-45] $30 < \alpha < 45$						
	[45-60] $45 < \alpha < 60$						
	[60-75] $60 < \alpha < 75$						
	[75-90] $75 < \alpha < 90$						
	[90] $\alpha = 90$						
[afast_sul_ter] Afastamento das divisas - Sul - Térreo	[0-30] $0 < \alpha < 30$			nota_afast_sul_ter			
	[30-45] $30 < \alpha < 45$						
	[45-60] $45 < \alpha < 60$						
	[60-75] $60 < \alpha < 75$						
	[75-90] $75 < \alpha < 90$						
	[90] $\alpha = 90$						

[afast_sul_sup] Afastamento das divisas - Sul - Superior	[0-30] $0 < \alpha < 30$	nota_afast_sul_sup
	[30-45] $30 < \alpha < 45$	
	[45-60] $45 < \alpha < 60$	
	[60-75] $60 < \alpha < 75$	
	[75-90] $75 < \alpha < 90$	
	[90] $\alpha = 90$	
[afast_leste_ter] Afastamento das divisas - Leste - Térreo	[0-30] $0 < \alpha < 30$	nota_afast_leste_ter
	[30-45] $30 < \alpha < 45$	
	[45-60] $45 < \alpha < 60$	
	[60-75] $60 < \alpha < 75$	
	[75-90] $75 < \alpha < 90$	
	[90] $\alpha = 90$	
[afast_leste_sup] Afastamento das divisas - Leste - Superior	[0-30] $0 < \alpha < 30$	nota_afast_leste_sup
	[30-45] $30 < \alpha < 45$	
	[45-60] $45 < \alpha < 60$	
	[60-75] $60 < \alpha < 75$	
	[75-90] $75 < \alpha < 90$	
	[90] $\alpha = 90$	
[afast_oeste_ter] Afastamento das divisas - Oeste - Térreo	[0-30] $0 < \alpha < 30$	nota_afast_oeste_ter
	[30-45] $30 < \alpha < 45$	
	[45-60] $45 < \alpha < 60$	
	[60-75] $60 < \alpha < 75$	
	[75-90] $75 < \alpha < 90$	
	[90] $\alpha = 90$	
[afast_oeste_sup] Afastamento das divisas - Oeste - Superior	[0-30] $0 < \alpha < 30$	nota_afast_oeste_sup
	[30-45] $30 < \alpha < 45$	
	[45-60] $45 < \alpha < 60$	
	[60-75] $60 < \alpha < 75$	
	[75-90] $75 < \alpha < 90$	
	[90] $\alpha = 90$	
[estrutura] Estrutura	[concreto_sem_pontes] Concreto armado, sem pontes térmicas	nota_estrutura
	[concreto_com_pontes] Concreto armado, com pontes térmicas	
	[blocos_ceramicos] Blocos cerâmicos auto-portantes	
	[metalica_sem_pontes] Metálica, sem pontes térmicas	
	[metalica_com_pontes] Metálica, com pontes térmicas	
	[madeira] Madeira	
[u_parede] Transmitância das paredes	[1,5] $U < 1,5$	nota_u_par
	[1,5-2] $1,5 < U < 2,0$	
	[2] $U > 2,0$	
[ct_parede] CT das paredes	[+130] $CT < 130$	nota_ct_par
	[-130] $CT > 130$	
[cor_parede] Cor das paredes	[claros] Tons claros ($\alpha < 0,4$)	nota_cor_par
	[medios] Tons médios ($0,4 < \alpha < 0,7$)	
	[escuros] Tons escuros ($\alpha > 0,7$)	
[u_cobertura] Transmitância da cobertura	[1,5] $U < 1,5$	nota_u_cob
	[1,5-2] $1,5 < U < 2,0$	
	[2] $U > 2,0$	
[cor_cobertura] Cor da cobertura	[claros] Tons claros ($\alpha < 0,4$)	nota_cor_cob
	[medios] Tons médios ($0,4 < \alpha < 0,7$)	
	[escuros] Tons escuros ($\alpha > 0,7$)	

[tipo_abertura] Tipo das aberturas	[pvc] PVC			nota_tipo_abertura
	[madeira] Madeira			
	[metalica] Metálica			
[iluminacao_norte] Área de aberturas por área de fachada - Norte	[20] <20%			nota_iluminacao_norte
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[iluminacao_sul] Área de aberturas por área de fachada - Sul	[20] <20%			nota_iluminacao_sul
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[iluminacao_leste] Área de aberturas por área de fachada - Leste	[20] <20%			nota_iluminacao_leste
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[iluminacao_oeste] Área de aberturas por área de fachada - Oeste	[20] <20%			nota_iluminacao_oeste
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[ventilacao_norte] Área de ventilação por área de fachada - Norte	[20] <20%			nota_ventilacao_norte
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[ventilacao_sul] Área de ventilação por área de fachada - Sul	[20] <20%			nota_ventilacao_sul
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[ventilacao_leste] Área de ventilação por área de fachada - Leste	[20] <20%			nota_ventilacao_leste
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[ventilacao_oeste] Área de ventilação por área de fachada - Oeste	[20] <20%			nota_ventilacao_oeste
	[20-40] 20 - 40%			
	[40] >40%			
[vidro] Tipo de vidro	[simples] Simples			nota_vidro
	[duplo] Duplo			
[estanqueidade] Estanqueidade	[muito] Muito estanque			nota_estanq
	[pouco] Pouco estanque			
[amb_u_piso] Transmitância do piso	[1,5] $U < 1,5$	[contato_piso] Contato do piso com o solo	[sim] Sim	nota_amb_u_piso
	[1,5-2] $1,5 < U < 2,0$		[nao] Não	
			[sim] Sim	
			[nao] Não	
	[2] $U > 2,0$		[sim] Sim	
			[nao] Não	
[amb_ct_piso] Carga térmica do piso	[+130] $CT < 130$		[sim] Sim	nota_amb_ct_piso
			[nao] Não	
	[-130] $CT > 130$		[sim] Sim	
			[nao] Não	
[amb_u_parede] Transmitância das paredes	[1,5] $U < 1,5$			nota_amb_u_par
	[1,5-2] $1,5 < U < 2,0$			
	[2] $U > 2,0$			
[amb_ct_parede] Carga térmica das paredes	[+130] $CT < 130$			nota_amb_ct_par
	[-130] $CT > 130$			
[amb_cor_parede] Cor das paredes	[claros] Tons claros ($\alpha < 0,4$)			nota_amb_cor_par
	[medios] Tons médios ($0,4 < \alpha < 0,7$)			
	[escuros] Tons escuros ($\alpha > 0,7$)			

[amb_orient_parede] Orientação das paredes	[norte] Norte	nota_amb_orient_par
	[nordeste] Nordeste	
	[leste] Leste	
	[sudeste] Sudeste	
	[sul] Sul	
	[sudoeste] Sudoeste	
	[oeste] Oeste	
[amb_u_cobertura] Transmitância da cobertura	[1,5] $U < 1,5$	nota_amb_u_cob
	[1,5-2] $1,5 < U < 2,0$	
	[2] $U > 2,0$	
[amb_cor_cobertura] Cor da cobertura	[claros] Tons claros ($\alpha < 0,4$)	nota_amb_cor_cob
	[medios] Tons médios ($0,4 < \alpha < 0,7$)	
	[escuros] Tons escuros ($\alpha > 0,7$)	
[amb_iluminacao_norte] Área translúcida por área de parede - Norte	[20] $< 20\%$	nota_amb_aiap_norte
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_iluminacao_sul] Área translúcida por área de parede - Sul	[20] $< 20\%$	nota_amb_aiap_sul
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_iluminacao_leste] Área translúcida por área de parede - Leste	[20] $< 20\%$	nota_amb_aiap_leste
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_iluminacao_oeste] Área translúcida por área de parede - Oeste	[20] $< 20\%$	nota_amb_aiap_oeste
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_ventilacao_norte] Área efetiva para ventilação por área de parede - Norte	[20] $< 20\%$	nota_amb_avap_norte
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_ventilacao_sul] Área efetiva para ventilação por área de parede - Sul	[20] $< 20\%$	nota_amb_avap_sul
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_ventilacao_leste] Área efetiva para ventilação por área de parede - Leste	[20] $< 20\%$	nota_amb_avap_leste
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_ventilacao_oeste] Área efetiva para ventilação por área de parede - Oeste	[20] $< 20\%$	nota_amb_avap_oeste
	[20-50] 20 - 50%	
	[50-80] 50 - 80%	
	[80] $> 80\%$	
[amb_brise] Proteção solar	[quente] Período + quente verão	nota_amb_brise
	[todo_ano] Todo o ano	
[amb_tipo_abertura] Tipo de abertura	[pvc] PVC	nota_amb_tipo_abertura
	[madeira] Madeira	
	[metalica] Metálica	
[amb_tipo_vidro] Tipo de vidro	[simples] Simples	nota_amb_tipo_vidro
	[duplo] Duplo	
[amb_estanqueidade] Estanqueidade	[muito] Muito estanque	nota_amb_estanq
	[pouco] Pouco estanque	

Fonte: Autor.

Quadro C3 – Equações utilizadas para o cálculo das notas.

NÍVEL 3	$\text{nota}_3 = (\text{nota_implantacao} \times \text{peso_implantacao}) + (\text{nota_forma} \times \text{peso_forma}) + (\text{nota_solo} \times \text{peso_solo}) + (\text{nota_afastamento} \times \text{peso_afastamento})$
	$\text{nota_afastamento} = (\text{nota_afast_norte} \times \text{peso_afast_norte}) + (\text{nota_afast_sul} \times \text{peso_afast_sul}) + (\text{nota_afast_leste} \times \text{peso_afast_leste}) + (\text{nota_afast_oeste} \times \text{peso_afast_oeste})$
	$\text{nota_afast_norte} = (\text{nota_afast_norte_ter} \times 0,5) + (\text{nota_afast_norte_sup} \times 0,5)$
	$\text{nota_afast_sul} = (\text{nota_afast_sul_ter} \times 0,5) + (\text{nota_afast_sul_sup} \times 0,5)$
	$\text{nota_afast_leste} = (\text{nota_afast_leste_ter} \times 0,5) + (\text{nota_afast_leste_sup} \times 0,5)$
	$\text{nota_afast_oeste} = (\text{nota_afast_oeste_ter} \times 0,5) + (\text{nota_afast_oeste_sup} \times 0,5)$
NÍVEL 4	$\text{nota}_4 = (\text{nota_estrutura} \times \text{peso_estrutura}) + (\text{nota_parede} \times \text{peso_parede}) + (\text{nota_cobertura} \times \text{peso_cobertura}) + (\text{nota_abertura} \times \text{peso_abertura})$
	$\text{nota_parede} = (\text{nota_u_parede} \times \text{peso_u_parede}) + (\text{nota_ct_parede} \times \text{peso_ct_parede}) + (\text{nota_cor_parede} \times \text{peso_cor_parede})$
	$\text{nota_cobertura} = (\text{nota_u_cobertura} \times \text{peso_u_cobertura}) + (\text{nota_cor_cobertura} \times \text{peso_cor_cobertura})$
	$\text{nota_abertura} = (\text{nota_tipo_abertura} \times \text{peso_tipo_abertura}) + (\text{nota_iluminacao} \times \text{peso_iluminacao}) + (\text{nota_ventilacao} \times \text{peso_ventilacao}) + (\text{nota_vidro} \times \text{peso_vidro}) + (\text{nota_estanqueidade} \times \text{peso_estanqueidade})$
	$\text{nota_iluminacao} = (\text{nota_iluminacao_norte} \times 0,25) + (\text{nota_iluminacao_sul} \times 0,25) + (\text{nota_iluminacao_leste} \times 0,25) + (\text{nota_iluminacao_oeste} \times 0,25)$
	$\text{nota_ventilacao} = (\text{nota_ventilacao_norte} \times 0,25) + (\text{nota_ventilacao_sul} \times 0,25) + (\text{nota_ventilacao_leste} \times 0,25) + (\text{nota_ventilacao_oeste} \times 0,25)$
NÍVEL 5	$\text{nota}_5 = (\text{nota_amb1} + \text{nota_amb2} + \dots + \text{nota_ambX}) / X$
	$\text{nota_amb} = (\text{nota_amb_piso} \times \text{peso_amb_piso}) + (\text{nota_amb_parede} \times \text{peso_amb_parede}) + (\text{nota_amb_cobertura} \times \text{peso_amb_cobertura}) + (\text{nota_amb_abertura} \times \text{peso_amb_abertura})$
	$\text{nota_amb_piso} = (\text{nota_amb_u_piso} \times \text{peso_amb_u_piso}) + (\text{nota_amb_ct_piso} \times \text{peso_amb_ct_piso})$
	$\text{nota_amb_parede} = (\text{nota_amb_u_parede} \times \text{peso_amb_u_parede}) + (\text{nota_amb_ct_parede} \times \text{peso_amb_ct_parede}) + (\text{nota_amb_cor_parede} \times \text{peso_amb_cor_parede}) + (\text{nota_amb_orient_parede} \times \text{peso_amb_orient_parede})$
	$\text{nota_amb_cobertura} = (\text{nota_amb_u_cobertura} \times \text{peso_amb_u_cobertura}) + (\text{nota_amb_cor_cobertura} \times \text{peso_amb_cor_cobertura})$
	$\text{nota_amb_abertura} = (\text{nota_amb_iluminacao} \times \text{peso_amb_iluminacao}) + (\text{nota_amb_ventilacao} \times \text{peso_amb_ventilacao}) + (\text{nota_amb_brise} \times \text{peso_amb_brise}) + (\text{nota_amb_tipo_abertura} \times \text{peso_amb_tipo_abertura}) + (\text{nota_amb_tipo_vidro} \times \text{peso_amb_tipo_vidro}) + (\text{nota_amb_estanqueidade} \times \text{peso_amb_estanqueidade})$

Fonte: Autor.