

Andrea Invidiata

**SOLAR DECATHLON: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DA CASA EKÓ HOUSE  
NO CENÁRIO BRASILEIRO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Martin Ordenes Mizgier,  
Dr.

Florianópolis – SC  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Andrea Invidiata

Solar Decathlon: análise da eficiência energética da casa Ekó House  
no cenário brasileiro - SC / Andrea Invidiata ; orientador, : Martin  
Ordenes Mizgier - Florianópolis, SC, 2013.

217 p. ; 21 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina,  
Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e  
Urbanismo.

Inclui referências

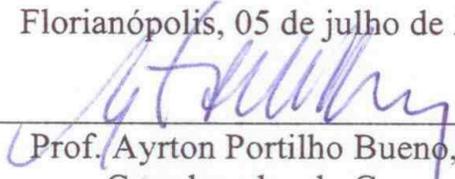
1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Solar Decathlon. 3. Eficiência  
Energética. 4. Conforto Ambiental. 5. RTQ-R. I. Martin Ordenes  
Mizgier II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Andrea Invidiata

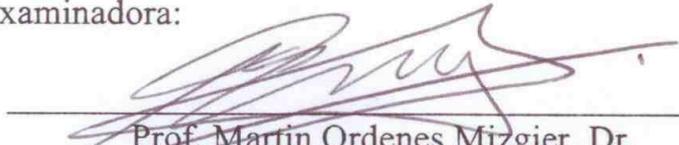
**SOLAR DECATHLON: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DA CASA EKÓ HOUSE  
NO CENÁRIO BRASILEIRO**

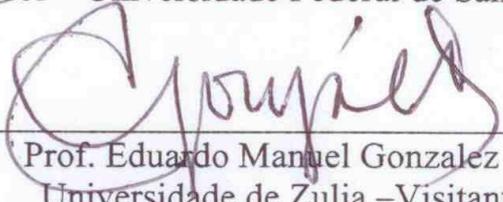
Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de Trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo-PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.

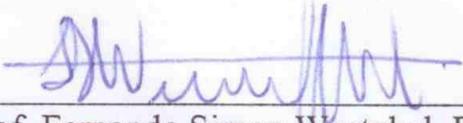
Florianópolis, 05 de julho de 2013

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ayrton Portilho Bueno, Dr.  
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.  
Orientador – Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Eduardo Manuel Gonzalez Cruz, Dr.  
Universidade de Zulia –Visitante UFSC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Roberto Zilles, Dr.  
Universidde de São Paulo -USP



## AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho, recebi apoio e incentivo de algumas pessoas, para as quais gostaria de registrar o meu agradecimento:

Aos meus pais, Leandra e Alessandro, e meu irmão Marco, que, mesmo a 12.000 km de distância, sempre me incentivaram e me apoiaram nesses dois anos de grande saudade.

À Pamella, minha namorada e amiga, que me ajudou e ficou do meu lado também nos momentos de dificuldade.

Ao meu Orientador, o Professor Martin Ordenes Mitzgier, pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus parentes, que fazem parte da minha vida cotidiana mesmo estando longe.

Aos amigos italianos, que me apoiaram nas minhas escolhas e me deram forças para sempre ir em frente, mesmo nos momentos de saudade (Grande Mich!).

Aos amigos Brasileiros, que me ajudaram a sentir menos saudade da minha vida italiana no meu dia a dia.

À PósARQ, pela oportunidade, com atenção mais que especial à Ana Maria W. Ramos, sempre atenciosa, prestativa e eficiente.

Aos professores Eduardo Manuel Gonzalez Cruz, Fernando Westphal e Roberto Zilles, por aceitarem o convite para participar da defesa desta dissertação, contribuindo com seu enorme conhecimento.

Aos participantes das entrevistas: a professora Themis Da Cruz Fagundes, o Professor José Ripper Kos e o Arquiteto Rovy Pinheiro Pessoa Ferreira.

Estendo meus agradecimentos também ao LabEEE e ao grupo de pesquisa do núcleo residencial do projeto CB3E, que me permitiram evoluir no meu projeto de pesquisa, e à todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma maneira para que este trabalho fosse concluído.

GRAZIE MILLE! Muito Obrigado!



“Less is more”.

(Mies van der Rohe, 1913)



## RESUMO

O progresso e a pesquisa para tornar os edifícios mais eficientes e, ao mesmo tempo, mais confortáveis, vêm sendo o foco do novo conceito de arquitetura. Um exemplo de como essa evolução está sendo concretizada é o Solar *Decathlon*, uma competição (criada em 2002) entre universidades do mundo todo que projetam e constroem casas autossuficientes energeticamente, pois operam utilizando apenas energia solar. A competição visa a construção de casas extremamente eficientes, avaliadas em diferentes quesitos, dentre os quais está a eficiência energética. Em setembro de 2012, foi sediada em Madri e na Espanha, contando pela primeira vez com uma equipe brasileira, representada pela *Ekó House*. O projeto da *Ekó House* foi realizado considerando as condições climáticas de Madri, no mês de setembro, para conseguir o melhor desempenho possível da casa durante a competição. A casa, no panorama brasileiro, não apresenta a mesma eficiência que na cidade da competição, com um balanço energético final que só as cidades de Brasília, Montes Claros e Goiânia têm um resultado parecido com a cidade de Madri. Esta pesquisa de Mestrado, portanto, tem o objetivo de avaliar a casa nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras por meio de três metodologias distintas (balanço energético, RTQ-R prescritivo e RTQ-R simulação) e propor, para cada região, um modelo adaptado às condições das diferentes cidades brasileiras analisadas. O objetivo da pesquisa é reutilizar o projeto *Ekó House* no Brasil da maneira mais eficiente para as condições climáticas do país, e, ao mesmo tempo, criar uma referência projetual para futuras participações na competição Solar *Decathlon*, tendo como foco, além da competição, a aplicação da casa no território brasileiro. A revisão bibliográfica é centrada em um melhor conhecimento da competição Solar *Decathlon* e da casa brasileira, abordando também os temas de arquitetura bioclimática e da eficiência energética nas edificações, tendo como foco o uso de tecnologias de energia solar. Por fim, uma análise das normas brasileiras relacionadas à eficiência energética nas edificações concluirá a revisão bibliográfica. A metodologia, por sua vez, é baseada na análise quantitativa da casa na cidade da competição e nas cidades brasileiras escolhidas. A avaliação da eficiência energética da casa será feita por meio de três métodos de análise diferentes: balanço energético, método prescritivo do RTQ-R e método de simulação do RTQ-R. Por último, a casa será alterada nas diferentes regiões, de acordo com as entrevistas feitas com os membros da equipe, com as normas brasileiras e de análise climática das cidades

onde a casa será avaliada. Dessa forma, será obtido para cada cidade um modelo de casa Ekó *House* mais eficiente. Os resultados finais demonstram que a casa obteve um melhor desempenho energético por meio das alterações de projeto propostas em todas as cidades brasileiras. As cidades com condições climáticas mais quentes apresentaram um maior benefício das alterações de projeto aportadas, reduzindo o consumo em até 20% comparado com o projeto original da casa.

**Palavras-chave:** Arquitetura. Eficiência energética. Solar *Decathlon*. *Energy Plus*. RTQ-R.



## **ABSTRACT**

The research and progress to make buildings more energy efficient and comfortable at the same time, are the focus of a new concept of architecture. An example of this new form of residential buildings designing is the Solar Decathlon, a contest emerged in 2002 among universities from different parts of the World. The aim is to project and build energy self-sufficient houses by using only sun power. During the two weeks of the competition, the participating houses are evaluated on different categories, including one of the most important: the energy efficiency. In September 2012, in Madrid, for the first time Brazil was represented by Ekó House, the house designed by the Federal University of Santa Catarina and the University of Sao Paulo. Ekó House was designed considering the climatic conditions of Madrid, in order to achieve the best possible performance of the house during the contest. This same house doesn't present the same efficiency in the Brazilian territory only in the cities of Brasília, Goiânia and Montes Claros the final energetic balance show a result similar to the one in Madrid. The objective of this research is to evaluate the energetic efficiency of Ekó House in different bioclimatic zones of Brazil through three different methods (energy balance, RTQ-R prescriptive and RTQ-R simulation) and then proposing, for each zone, a design changes for the climatic conditions of Brazilian cities analyzed. The purpose of the research is re-use the Ekó House project in Brazil in a more efficient way and the same time create a project reference for a future new participation on the Solar Decathlon. The references focuses on a better understanding of the Solar Decathlon competition and Ekó House, addressing issues of bioclimatic architecture and energy efficiency of buildings, with particular attention to the use of solar technologies. Finally, analysis of the provisions of Brazilian law relating to energy efficiency in buildings completes the review of the literature. The methodology is based on the quantitative analysis of Ekó House in the city of Madrid and the Brazilian cities. The evaluation of energy efficiency of the house is made through three different methods: energy balance, prescriptive method of energy certification (RTQ-R) and method of simulation of energy certification (RTQ-R). Finally, the design of the house will be modified through interviews with members of the team-Brasil, the Brazilian Norms of energy efficiency and climatic analysis of the Brazilian's cities. For each city will be created a model of highly efficient Ekó House. The final results show that the house has a better

energy efficiency with the design changes proposed in all Brazilian cities. Ekó House, in warmer climates, reduces the consumption until to 20% with the design changes proposals.

**Keywords:** Architecture. Energy efficiency. Solar Decathlon. Energy Plus. RTQ-R.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo mundial de energia.....	1
Figura 2 – Oferta Interna de Energia.....	2
Figura 3 – Consumo de energia elétrica no Brasil.....	2
Figura 4 – Evolução do consumo médio mensal por domicílio.....	3
Figura 5 – Apartamento do tipo analisado.....	14
Figura 6 – Edifício modelo.....	15
Figura 7 – Consumo de energia elétrica por região geográfica em 2011.....	16
Figura 8 – Consumo elétrico nos edifícios residenciais no Brasil.....	19
Figura 9 – Conceitos clássico e atual para a Arquitetura.....	20
Figura 10 – Categorias das Provas Solar <i>Decathlon</i> .....	23
Figura 11 – Pontuação Categorias Provas Solar <i>Decathlon</i> .....	24
Figura 12 – Pontuação da Autonomia Elétrica nas semanas da competição.....	26
Figura 13 – Pontuação da Temperatura de Conforto .....	26
Figura 14 – Pontuação da Umidade do Ar.....	27
Figura 15 – Pontuação das emissões de CO <sup>2</sup> .....	27
Figura 16 – Nível de iluminação.....	27
Figura 17 – Casas Solar <i>Decathlon</i> 2012.....	29
Figura 18 – Casa <i>Canopea</i> .....	30
Figura 19 – Casa <i>Lumenhaus</i> .....	31
Figura 20 – Casa <i>ElementHouse</i> .....	32
Figura 21 – Casa <i>BeauSoleil</i> .....	32
Figura 22 – Casa <i>Sunflower</i> .....	33
Figura 23 – Edifício em Xangai e casa do Solar <i>Decathlon</i> .....	34
Figura 24 – Casa Solar <i>Flex</i> .....	35
Figura 25 – Planta Baixa <i>Ekó House</i> .....	36

Figura 26 – Ekó House – projeto casa do Brasil.....	37
Figura 27 – Ekó <i>House</i> – estratégias passivas e ativas.....	39
Figura 28 – Pontuação da Prova de Conforto.....	43
Figura 29 – Pontuação da Prova de Balanço energético.....	44
Figura 30 – ENCE – etiqueta edificação unifamiliar autônoma.....	45
Figura 31 – Mapa das Zonas Bioclimáticas do Brasil.....	51
Figura 32 – Proposta de novo zoneamento bioclimático do Brasil.....	52
Figura 33 – Resumo e adaptação dos princípios e estratégias do projeto bioclimático.....	53
Figura 34 – Carta de Givoni.....	54
Figura 35 – Carta Bioclimática adotada para o Brasil.....	55
Figura 36 – Carta Bioclimática para as cidades de Curitiba-Belém-Madri.....	56
Figura 37 – Radiação global – incidente no plano horizontal.....	57
Figura 38 – Variabilidade mensal de radiação global.....	57
Figura 39 – Sistema coletor solar.....	58
Figura 40 – Porcentagem de chuveiros elétricos usados no Brasil.....	59
Figura 41 – Área de coletores solares por Estado.....	60
Figura 42 – Sistema fotovoltaico.....	63
Figura 43 – Mapa da energia solar diária gerada no Brasil.....	64
Figura 44 – Esquema da metodologia desenvolvida.....	68
Figura 45 – Sobreposição dos mapas de zonas Bioclimáticas e energia solar diária gerada no Brasil.....	70
Figura 46 – Cidade escolhidas para avaliação da casa com o método do Balanço Energético.....	71
Figura 47 – Cidade escolhidas para avaliação da casa com o método prescritivo e de simulação do RTQ-R .....	72
Figura 48 – Zonas térmicas do modelo Ekó <i>House</i> no <i>Energy Plus</i> .....	73
Figura 49 – Modelo geométrico simplificado de Ekó <i>House</i>	

no <i>Sketchup (Open Studio)</i> .....	74
Figura 50 – Diferentes orientações da casa.....	75
Figura 51 – Temperatura de conforto Interna.....	76
Figura 52 – Sistemas solares na casa <i>Ekó House</i> .....	79
Figura 53 – Planilha Envoltória.....	81
Figura 54 – Análise da temperatura mensal em Florianópolis.....	94
Figura 55 – Análise da radiação global mensal em Florianópolis.....	95
Figura 56 – Humidade relativa mensal em Florianópolis.....	95
Figura 57 – Intensidade e orientação dos ventos em Florianópolis.....	96
Figura 58 – Horas de conforto térmico em Florianópolis.....	97
Figura 59 – Estratégias para conforto térmico em Florianópolis.....	97
Figura 60 – Esquema da análise dos resultados.....	100
Figura 61 – Consumo-geração anual <i>Ekó House</i> – projeto original nas cidades brasileiras .....	104
Figura 62 – Consumo anual da Casa <i>Ekó House</i> nas cidades brasileiras .....	107
Figura 63 – Comparação dos consumos <i>Ekó House</i> entre a cidade de Curitiba (ZB1) e Manaus (ZB8) .....	108
Figura 64 – Geração fotovoltaica <i>Ekó House</i> nas cidades brasileiras.....	109
Figura 65 – Economia de energia-coletores solares <i>Ekó House</i> nas cidades brasileiras.....	110
Figura 66 – Consumo-geração anual <i>Ekó House</i> – projeto com alterações nas cidades brasileiras.....	128
Figura 67 – Consumo anual por equipamentos <i>Ekó House</i> – projeto com alterações nas cidades brasileiras.....	130
Figura 68 – Consumo anual <i>Ekó House</i> – projeto com alterações nas cidades de Curitiba e Teresina.....	131
Figura 69 – Geração fotovoltaica <i>Ekó House</i> nas cidades brasileiras.....	132

Figura 70 – Comparação do balanço energético da Ekó House original – projeto alterado.....	143
Figura 71 – Comparação do consumo elétrico da Ekó House original – projeto alterado.....	144
Figura 72 – Comparação do consumo do ar condicionado da Ekó House original – projeto alterado.....	145
Figura 73 – Comparação da geração fotovoltaica da Ekó House original – projeto alterado.....	146
Figura 74 – Envoltória tipologia 1.....	181
Figura 75 – Envoltória: tipologia 2.....	181
Figura 76 – Envoltória: tipologia 3.....	182
Figura 77 – Envoltória: tipologia 4.....	182
Figura 78 – Envoltória: tipologia 5.....	183
Figura 79 – Envoltória: tipologia 6.....	183
Figura 80 – Envoltória: tipologia 7.....	184
Figura 81 – Envoltória: tipologia 8.....	184
Figura 82 – Envoltória: tipologia 9.....	185
Figura 83 – Vidro: tipologia 1.....	185
Figura 84 – Vidro: tipologia 2.....	185
Figura 85 – Vidro: tipologia 3.....	186
Figura 86 – Vidro: tipologia 4.....	186



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ocorrência de faixa de consumo por região geográfica.....	16
Tabela 2 – Características dos domicílios em relação ao acesso à rede elétrica e por tipo de domicílio.....	17
Tabela 3 – Tipo de domicílio por faixa de consumo e por região geográfica.....	18
Tabela 4 – Usos finais para o setor residencial brasileiro de acordo com sete diferentes estudos.....	18
Tabela 5 – Características térmicas da envoltória.....	38
Tabela 6 – Características da Bomba de Calor.....	40
Tabela 7 – Consumo e potência de equipamentos Ekó House.....	40
Tabela 8 – Uso de equipamento para simulações.....	41
Tabela 9 – Uso de iluminação para simulações.....	42
Tabela 10 – Desempenho no Solar <i>Decathlon</i> de Ekó House.....	43
Tabela 11 – Comparação das normas brasileiras de eficiência energética.....	49
Tabela 12 – 20 Cidades escolhidas para o método do Balanço Energético.....	71
Tabela 13 – Uso e Ocupação da Ekó House.....	77
Tabela 14 – Atividades desenvolvidas na casa.....	77
Tabela 15 – Uso e potência dos eletrodomésticos.....	78
Tabela 16 – Uso e potência da iluminação.....	78
Tabela 17 – Equivalentes numéricos da envoltória nas 8 zonas bioclimática.....	82
Tabela 18 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana.....	86
Tabela 19 – Taxas metabólicas para cada atividade.....	86
Tabela 20 – Densidade de potência instalada de iluminação.....	87
Tabela 21 – Padrão de uso da iluminação.....	87

Tabela 22 – Diretrizes construtivas da NBR 15220.....	92
Tabela 23 – Diretrizes construtivas da NBR 15575.....	92
Tabela 24 – Pré-requisitos RTQ-R.....	93
Tabela 25 – Balanço energético Ekó <i>House</i> no Brasil – projeto original.....	102
Tabela 26 – Variação percentual de consumo.....	106
Tabela 27 – Variação de percentual de geração fotovoltaica da Ekó <i>House</i> no Brasil.....	109
Tabela 28 – Avaliação Envoltória do método prescritivo RTQ-R.....	112
Tabela 29 – Comparação do coletor solar do modelo instalado na casa e do modelo escolhido para classificação energética.....	113
Tabela 30 – Avaliação do sistema de aquecimento de água no método RTQ-R.....	113
Tabela 31 – Bonificações da casa Ekó <i>House</i> RTQ-R.....	114
Tabela 32 – Classificação energética final Ekó <i>House</i> – método prescritivo RTQ-R.....	114
Tabela 33 – Avaliação Envoltória Ekó <i>House</i> – método simulação – RTQ-R.....	116
Tabela 34 – Avaliação do sistema de aquecimento de água no método RTQ-R.....	117
Tabela 35 – Bonificações da casa Ekó <i>House</i> RTQ-R.....	117
Tabela 36 – Classificação energética final Ekó <i>House</i> – método prescritivo RTQ-R... ..	118
Tabela 37 – Estudo das alterações projetuais da casa Ekó <i>House</i> .....	122
Tabela 38 – Balanço energético Ekó <i>House</i> no Brasil – projeto com alterações.....	127
Tabela 39 – Variação percentual de consumo com alterações de projeto.....	129
Tabela 40 – Variação percentual de geração fotovoltaica da Ekó <i>House</i> com alterações no Brasil.....	132

Tabela 41 – Número de módulos fotovoltaicos necessários nas cidades brasileiras.....	133
Tabela 42 – Número de coletores solares necessários nas cidades brasileiras.....	134
Tabela 43 – Avaliação Envoltória do método prescritivo RTQ-R – Ekó <i>House</i> com alterações.....	136
Tabela 44 – Avaliação do sistema de aquecimento de água da casa com as alterações projetuais no método RTQ-R.....	137
Tabela 45 – Bonificações da casa Ekó <i>House</i> com alterações no método RTQ-R.....	137
Tabela 46 – Classificação energética final da Ekó <i>House</i> com alterações de projeto – método prescritivo RTQ-R.....	138
Tabela 47 – Avaliação Envoltória Ekó <i>House</i> com alterações de projeto no método de simulação – RTQ-R.....	139
Tabela 48 – Avaliação do sistema de aquecimento de água no método RTQ-R.....	140
Tabela 49 – Bonificações da casa Ekó <i>House</i> com alterações de projeto – RTQ-R.....	141
Tabela 50 – Classificação energética final da Ekó <i>House</i> com mudanças de projeto – método simulação RTQ-R.....	141
Tabela 51 – Comparação dos resultados Ekó <i>House</i> – método prescritivo RTQ-R.....	148
Tabela 52 – Comparação dos resultados Ekó <i>House</i> – método de simulação RTQ-R.....	150
Tabela 53 – Indicações de projeto Ekó <i>House</i> no Brasil.....	154



## SIGLAS E ABREVIATURAS

$\alpha$ :	Absorbância
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN:	Balanco Energético Nacional
Ct:	Capacidade Térmica
ENCE:	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE:	Empresa de Pesquisa Energética
IEA:	<i>International Energy Agency</i>
OSB:	Oriented Strand Board
RTQ-C:	Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Comerciais
RTQ-R:	Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SAS:	Sistema de aquecimento solar
SWERA:	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
SDE:	<i>Solar Decathlon Europe</i>
TRY:	<i>Test Reference Year-type</i>
U:	Transmitância
UFSC:	Universidade Federal de Santa Catarina
USP:	Universidade de São Paulo
ZB:	Zona Bioclimática
ZB 1:	Zona Bioclimática 1
ZB 2:	Zona Bioclimática 2
ZB 3:	Zona Bioclimática 3
ZB 4:	Zona Bioclimática 4
ZB 5:	Zona Bioclimática 5
ZB 6:	Zona Bioclimática 6
ZB 7:	Zona Bioclimática 7
ZB 8:	Zona Bioclimática 8



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO PROPOSTO.....	6
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo geral.....	10
1.2.1 Objetivo específicos.....	10
1.2.3 Estrutura do trabalho.....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES.....	13
2.1.1 Consumo de energia elétrica nos edifícios residenciais do Brasil.....	15
2.2 SOLAR <i>DECATHLON</i> .....	21
2.2.1 A Competição.....	23
2.2.2 Provas.....	25
2.2.3 Casas das competições .....	28
2.3 <i>EKÓ HOUSE</i> .....	35
2.3.1 Envoltória.....	38
2.3.2 Estratégias Ativas.....	39
2.3.3 Tecnologias Solares.....	40
2.3.4 Análise da eficiência energética da Ekó House em Madri.....	41
2.3.5 Classificação da Ekó House na competição.....	42
2.4 NORMAS BRASILEIRAS SOBRE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS.....	44
2.4.1 Regulamento de eficiência energética nas edificações residenciais (RTQ-R).....	44
2.4.2 Normas em matéria de eficiência energética.....	47
2.4.3 Zonas Bioclimáticas Brasileiras.....	50

2.5 BIOCLIMATOLOGIA.....	52
2.5.1 Métodos de Avaliação Bioclimática: Instrumentos Bioclimáticos.....	53
2.6 SISTEMAS SOLARES INTEGRADOS.....	56
2.6.1 Coletores solares.....	58
2.6.2 Módulos fotovoltaicos.....	61
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>67</b>
3.1 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA EKÓ <i>HOUSE</i> .....	69
3.2 ANÁLISE E ESCOLHA DAS CIDADES BRASILEIRAS.....	69
3.2.1 Cidades escolhidas pelo método do Balanço Energético.....	69
3.2.2 Cidades escolhidas pelo método de prescritivo do RTQ-R.....	72
3.3 MODELO SIMPLIFICADO DA EKÓ <i>HOUSE</i> .....	73
3.4 ANÁLISE DA EKÓ <i>HOUSE</i> POR MEIO DO BALANÇO ENERGÉTICO.....	75
3.4.1 Orientação e entorno.....	75
3.4.2 Temperatura de conforto interno.....	76
3.4.3 Uso e Ocupação da Ekó <i>House</i> .....	77
3.4.4 Uso do Equipamento Interno.....	77
3.4.5 Sistemas Solares.....	79
3.5 ANÁLISE DA EKÓ <i>HOUSE</i> POR MEIO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R.....	81
3.5.1 Envoltória.....	81
3.5.2 Aquecimento de água.....	83
3.5.3 Bonificações e etiqueta final.....	83

3.6 ANÁLISE DA EKÓ HOUSE POR MEIO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R.....	85
3.6.1 Envoltória.....	85
3.6.2 Aquecimento de água.....	89
3.6.3 Bonificações e etiqueta final.....	89
3.7 ALTERAÇÕES DE PROJETO.....	90
3.7.1 Entrevistas com membros da equipe <i>Team Brasil</i> .....	90
3.7.2 Normas brasileiras de eficiência energética em edifícios residenciais.....	91
3.7.3 Análise bioclimática das cidades brasileiras.....	94
3.8 ANÁLISE DA EKÓ <i>HOUSE</i> COM AS ALTERAÇÕES DE PROJETO.....	98
3.9 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA EKÓ <i>HOUSE</i> .....	98
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>100</b>
4.1 RESULTADOS – CASA EKÓ <i>HOUSE</i> ORIGINAL.....	101
4.2 MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO.....	101
4.2.1 Consumo.....	105
4.2.2 Geração fotovoltaica.....	108
4.2.3 Produção de água quente-coletores solares.....	110
4.3. RTQ-R MÉTODO PRESCRITIVO.....	111
4.3.1 Envoltória.....	111
4.3.2 Aquecimento de água.....	113
4.3.3 Bonificações.....	114
4.3.4 Classificação final da Ekó <i>House</i> .....	114
4.4 RTQ-R – MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	115
4.4.1 Envoltória.....	115
4.4.2 Aquecimento de água.....	116

4.4.3	Bonificações.....	117
4.4.4	Classificação final da Ekó <i>House</i> .....	117
4.5	CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS CASA EKÓ HOUSE – PROJETO ORIGINAL.....	118
4.6	ALTERAÇÕES PROJETUAIS.....	119
4.7	RESULTADOS DA CASA EKÓ <i>HOUSE</i> COM ALTERAÇÕES PROJETUAIS.....	126
4.8	MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO.....	126
4.8.1	Consumo.....	128
4.8.2	Geração fotovoltaica.....	131
4.8.3	Produção de água quente-coletores solares.....	134
4.9.	RTQ-R – MÉTODO PRESCRITIVO.....	135
4.9.1	Envoltória.....	135
4.9.2	Aquecimento de água.....	136
4.9.3	Bonificações.....	137
4.9.4	Classificação final da Ekó <i>House</i> .....	137
4.10	RTQ-R – MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	138
4.10.1	Envoltória.....	138
4.10.2	Aquecimento de água.....	140
4.10.3	Bonificações.....	140
4.10.4	Classificação final da Ekó <i>House</i> .....	141
4.11	CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS CASA EKÓ HOUSE COM ALTERAÇÕES DE PROJETO.....	141
4.12	COMPARAÇÃO DOS RESULTADO DA CASA EKÓ <i>HOUSE</i> ORIGINAL E COM AS ALTERAÇÕES DE PROJETO.....	142
4.13	MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO.....	143
4.13.1	Consumo.....	144
4.13.2	Geração fotovoltaica.....	145

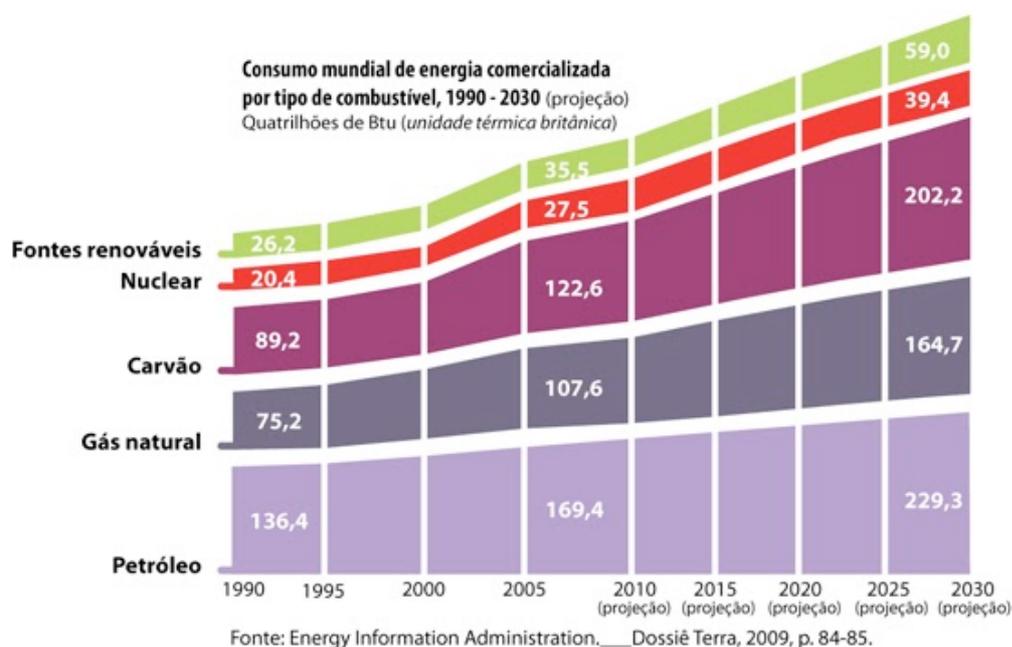
4.13.3	Produção de água quente-coletores solares.....	146
4.14	RTQ-R – MÉTODO PRESCRITIVO.....	147
4.15	RTQ-R – MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	149
4.16	CONCLUSÕES SOBRE AS COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DA CASA EKÓ HOUSE.....	151
4.17	RESULTADOS – INDICAÇÕES DE PROJETO EKÓ <i>HOUSE</i> NO BRASIL.....	152
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>157</b>
5.1	CONCLUSÕES GERAIS.....	157
5.2	LIMITAÇÕES.....	161
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..	161
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>164</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>175</b>
7.1	ANEXO 1 – ENTREVISTAS.....	175
7.2	ANEXO 2 – ENVÓLTORIA.....	181
7.2.1	Paredes externas, cobertura e piso.....	181
7.2.2	Vidro de Aberturas.....	185



## 1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais discutidos nas últimas décadas tem sido a maneira de se enfrentar o crescente consumo energético e o impacto ambiental que isso causa. Essa crescente demanda de energia deve-se principalmente a dois fatores: o crescimento da população mundial e o crescimento do consumo produtivo e de vida dos países em desenvolvimento. Até 2020, o consumo energético mundial crescerá 10% em comparação com o consumo atual, como aponta um estudo realizado pelo *International Energy Agency* (IEA, 2012). Este aumento do consumo energético será alimentado, em grande parte, por fontes de energia não renováveis. Como demonstra a Figura 1, estima-se que o aumento do consumo de fontes de energia não renováveis dobrará em menos de 20 anos.

As consequências desse possível cenário são: aumento do efeito estufa, aquecimento global do planeta, mudanças climáticas e graves danos ao meio ambiente.

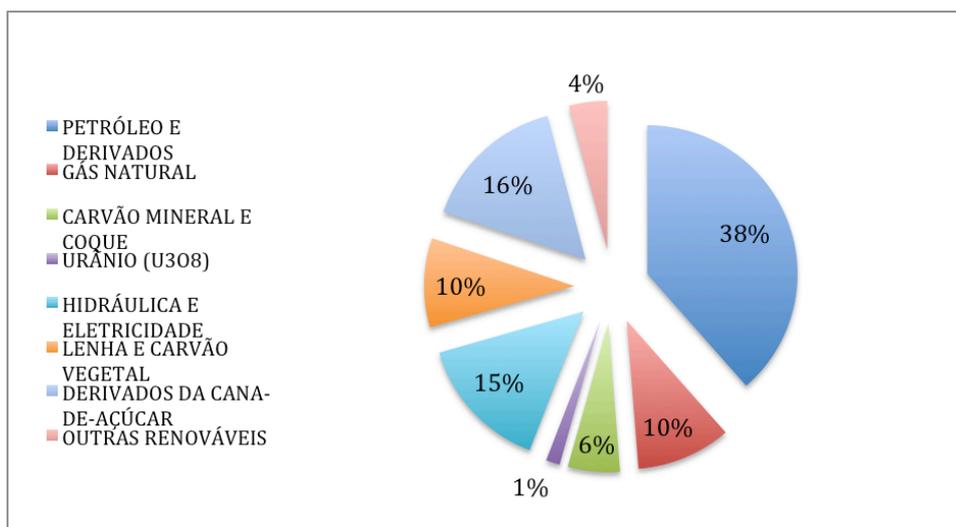


**Figura 1 – Consumo mundial de energia.**

Fonte: *Energy Information* (2009).

No Brasil, mais de 50% da energia gerada é oriunda de fontes não renováveis. Pelo relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) (MME, 2012), as fontes de energia renováveis representaram 44,1% da oferta interna de energia, o que corresponde a uma porcentagem relativamente grande, que considera também a energia gerada pelas

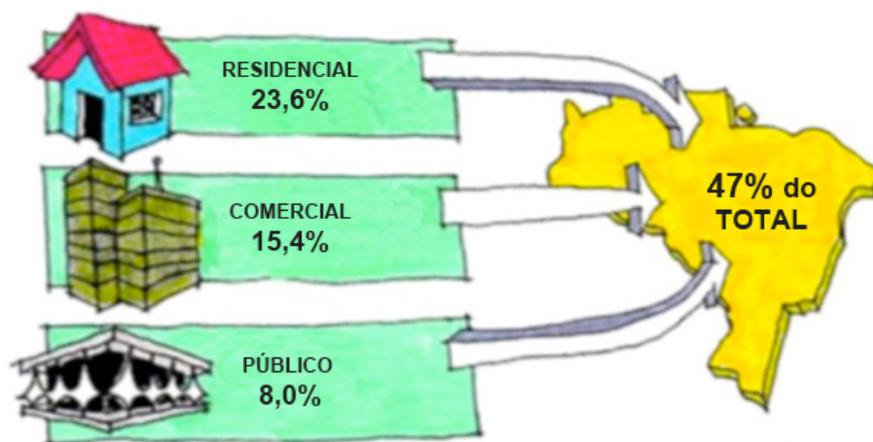
usinas hidroelétricas (Figura 2). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a situação hidrológica favorável que existiu durante o ano de 2011 foi um dos principais fatores que levaram ao crescimento das fontes de energia renováveis, sendo que a energia hidráulica possibilitou que as usinas térmicas movidas a carvão, óleo combustível e gás natural funcionassem menos do que o ocorrido no ano de 2010.



**Figura 2 – Oferta Interna de Energia.**

Fonte: BEN (2012).

A geração de energia elétrica no Brasil, em centrais de serviço público e em autoprodutores, atingiu 531,8 TWh em 2011(BEN)(MME, 2012).



**Figura 3 – Consumo de energia elétrica no Brasil.**

Fonte: BEN (2012) Adaptado de Lamberts, Dutra E Pereira (2011).

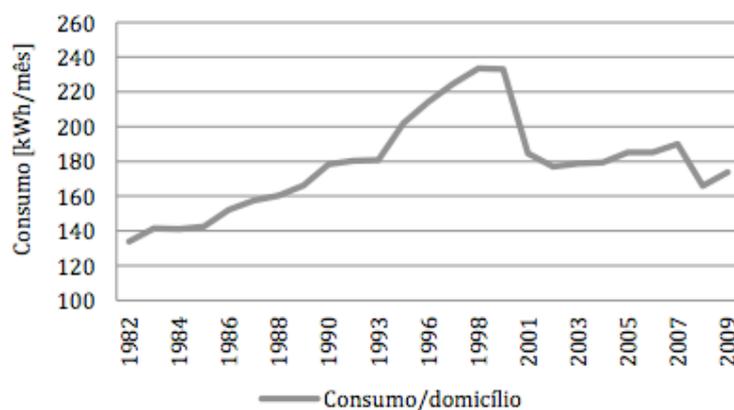
Dessa geração de energia elétrica produzida no Brasil, 47% é consumida por edificações, sendo 23,6% por edifícios residenciais,

15,4% por edifícios comerciais e 8,0% por edifícios públicos (Figura 3) (BEN, ADAPTADO LAMBERTS-DUTRA-PEREIRA 2011).

Como mostra a Figura 4, mesmo com uma diminuição do consumo depois da crise energética de 2001, o consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil, nos últimos 30 anos, teve um crescimento médio de 5,7% ao ano para o período de 1975 a 2011 (BEN, 2012). Dentre os fatores que contribuíram para esta taxa de crescimento, é possível listar:

- aumento da renda, notadamente da população de baixa renda;
- aumento da quantidade de domicílios e aumento da ligação daqueles que não eram atendidos por redes elétricas;
- utilização de reservas financeiras para compra de eletrodomésticos, principalmente pela classe de médios e pequenos poupadores;
- reativação do sistema de crédito;
- políticas de governo; e
- criação de pequenos negócios (mercado informal) nas residências (EPE, 2006).

Esses fatores contribuíram para a alta no consumo por domicílio e, conseqüentemente, no consumo total do setor residencial. Na Figura 4, a seguir, é apresentada a evolução no consumo médio mensal por domicílio brasileiro. Percebe-se como o crescimento do gasto de energia por domicílio foi constante até a crise energética de 2001, ano em que ocorreu um racionamento que durou 09 meses nas Regiões Norte, Nordeste e Sudeste, sendo o setor residencial o que promoveu economias mais significativas (EPE, 2006).



**Figura 4 – Evolução do consumo médio mensal por domicílio.**

Fonte: BEN (2012).

O cenário aqui apresentado mostra como o tema da eficiência energética nas edificações no Brasil não pode ser colocado em segundo plano. A tendência de crescimento estimada é ainda maior devido à estabilidade da economia, aliada a uma política de melhor distribuição de renda. Isso permite o acesso da população aos benefícios proporcionados pelas novas tecnologias com relação ao conforto ambiental das edificações, o que antes era possível apenas para uma parcela significativamente menor da sociedade. Soma-se a isso a elevada taxa de urbanização e a expansão do setor de serviços e pode-se perceber que essa má distribuição no acesso está provocando um grande incremento do consumo de energia elétrica nas casas das famílias brasileiras.

Durante as últimas décadas, o grande interesse pelas fontes de energia alternativa e por um menor gasto de energia acompanha tentativas de reversão desse inquietante cenário. A partir da crise energética em 2001, o Brasil adotou uma nova postura em relação ao consumo de energia. No mesmo ano, foi promulgada no país a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa Lei enfoca, além da preservação ambiental, um modo de disponibilizar de forma mais eficiente os recursos energéticos do Brasil. Dentro das ações integrantes desse Decreto, foi criado em 2004 o projeto “Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes”, resultante do convênio entre a Eletrobrás/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por meio do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Foi o início de um processo para que o Brasil estabelecesse planos de combate ao desperdício de energia elétrica, centrados em mecanismos técnicos que promovessem a eficiência energética das edificações construídas no país.

Isso pode ser considerado ainda um incentivo para que se consiga diminuir o elevado consumo energético dos edifícios. Entretanto, devido às novas leis que regulamentam a eficiência energética dos edifícios, deve-se mudar a maneira de projetá-los. A arquitetura bioclimática, aliada ao uso de sistemas passivos e às novas tecnologias, deve ser a base para a concepção de edifícios mais eficientes e sustentáveis. Em um futuro não muito distante, todos os edifícios serão capazes de se autossustentarem energeticamente, produzindo energia por meio de fontes de energia renováveis integradas às edificações (GIULIANO DALL'O', 2013).

Diferentemente dos setores de construção comercial e do público, onde a consciência de uma projeção preocupada com a eficiência energética aumentou durante os últimos anos, o setor da habitação não sofreu essa influência em busca da eficiência energética, da causa do baixo interesse do setor público e do setor privado, bem como da falta de investimento no setor residencial (LAMBERTS; WESTPHAL, 2000). Por meio de uma projeção preocupada com a eficiência energética, o setor da habitação social poderia ser a solução de dois problemas simultaneamente: o alto déficit de unidades habitacionais no Brasil e o menor consumo energético nos edifícios residenciais (BODACH, 2010).

Nas últimas décadas, pesquisas foram desenvolvidas e numerosas iniciativas foram tomadas a fim de mudar essa situação. Não só no Brasil, mas em grande parte do mundo, a demonstração com o tema da eficiência energética nos edifícios residenciais tem grande importância. O *Solar Decathlon* é um exemplo de pesquisa para o desenvolvimento de edifícios cada vez mais eficientes e sustentáveis.

Fundada em 2002 pelo “*U.S. Department of Energy (DOE)*”, o *Solar Decathlon* é uma competição entre universidades de todo o mundo, com projetos de casas autossuficientes energeticamente que operam apenas utilizando a energia solar. Depois do grande sucesso nos Estados Unidos, em 2010, pela primeira vez a competição foi realizada em Madri com o nome *Solar Decathlon Europe (SDE)*.

Em setembro de 2012, pela segunda vez, a competição foi realizada em Madri. Durante os 17 dias da competição, as casas participantes foram avaliadas em diferentes categorias, entre elas eficiência energética. Pela primeira vez, também, uma equipe brasileira participou com a *Ekó House*. Projetada por meio de uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade Federal de São Paulo (USP), a *Ekó House* é baseada na aplicação de algumas das mais modernas tecnologias em eficiência energética, juntamente com diretrizes de arquitetura bioclimática e uso de materiais ecológicos. Todo o projeto da *Ekó House* foi realizado considerando as condições climáticas em Madri, durante o mês de setembro, visando ao melhor desempenho possível da casa durante a competição.

O Brasil, por sua vez, é caracterizado por uma grande variedade de condições climáticas. O país é dividido em oito zonas climáticas diferentes (de Z1, a mais fria, a Z8, a mais quente) que representam as

diversas condições climáticas do país (NBR 15220-3).

O presente trabalho é uma contribuição para desenvolver, em cada cidade analisada nas diferentes condições climáticas brasileiras, um modelo de *Ekó House* que seja o mais eficiente possível.

A pesquisa apresenta as seguintes perguntas:

- 1) Qual será o desempenho energético da casa *Ekó House* nos diferentes climas do território brasileiro ao longo do ano?
- 2) Quais alterações projetuais da casa poderiam ser utilizadas para a sua melhor eficiência nos diferentes climas brasileiros?
- 3) Será possível adaptar a *Ekó House* ao território brasileiro?
- 4) O projeto original da casa apresenta elementos que possam ser aproveitados para a adaptação da mesma?
- 5) É possível participar das futuras competições e trabalhar, em paralelo, em um projeto aplicado ao Brasil?
- 6) O *Solar Decathlon* é uma oportunidade para tratar das preocupações sobre eficiência energética em edifícios residenciais no Brasil?

### 1.1. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO PROPOSTO

Os modelos de projetos arquitetônicos desenvolvidos por arquitetos e engenheiros vêm sofrendo mudanças ao longo do tempo, pois, inicialmente, esses profissionais eram motivados pela crise do petróleo na década de 1970, que abalou o modelo elétrico europeu. Essa grave crise energética foi o despertar da arquitetura para a consciência energética, com o surgimento de estudos e pesquisas e de uma mudança nas atitudes, tanto de projetistas quanto de usuários (MAZOUZ; ZEROUALA, 2001). Fatos como esse levaram alguns países desenvolvidos a implantarem medidas com o objetivo de reduzir o consumo energético. Uma dessas medidas foi a criação de normas para eficiência energética de edificações. Nesse cenário, a França foi o país que mais rapidamente obteve resultados na regulamentação energética em suas edificações, alcançando, já em 1989, economia de energia na ordem de 42% em relação a 1973 (MEIRIÑO, 2004). Nos Estados Unidos, o tema ganhou força no início da década de 1990. Em 1992, por meio de uma lei que tratava sobre a matéria de eficiência energética, o

governo obrigou todas as unidades da federação a adotarem padrões mínimos de eficiência energética em suas edificações.

No Brasil, essa questão foi suscitada com os apagões ocorridos em 2001. Os riscos de blecaute levaram à busca por aparelhos energeticamente mais eficientes, alavancando as certificações. Nesse contexto, foi promulgada no Brasil a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Foi o início de numerosos processos que promoveram a eficiência energética das edificações construídas no país.

Em pesquisas de campo feitas por meio de medições, conforme dados levantados pela pesquisa de MASCARÓ (1992), foi constatado que de 20% a 30% da energia consumida pelas edificações seriam suficientes para que ela operasse. Também identificou-se que são desperdiçados entre 30% e 50% de energia por falta de manutenção nas edificações, mau uso e falta de controles adequados de instalação. O desenho equivocado da edificação, por meio de má orientação e desenho inadequado das fachadas, consome de 25% a 45% de energia.

Para diminuir o consumo de energia dos edifícios residenciais, deve-se, então, mudar a maneira de projetar os edifícios. Dessa forma, fica cada vez mais evidente a necessidade de se buscar eficiência energética em todas as áreas onde o consumo de energia está presente. No caso da arquitetura, essa procura está relacionada à consideração das características bioclimáticas do local onde se pretende construir, à utilização de modernas tecnologias (energia solar, sistema de automação) e à busca de elementos que promovam conforto térmico e lumínico, possibilitando a redução dos gastos de energia com iluminação artificial e refrigeradores ou aquecedores.

Construir com o clima [...] não é mais uma posição ecológica, idealista e contestatória. É uma necessidade quando se analisa o panorama mundial local da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia e à deterioração causada ao meio ambiente tanto na produção e distribuição como no uso, principalmente urbano, da energia elétrica. (GRALA DA CUNHA, 2006, p. 78).

Portanto, a preocupação com a eficiência energética já na fase

projetal de uma edificação é fundamental para se economizar energia elétrica. Como afirma Chavez (2005), “o projeto eficiente de uma residência e a escolha correta dos materiais utilizados podem reduzir em até duas vezes o consumo de energia em relação aos projetos convencionais”.

Segundo a conclusão da pesquisa realizada por Fernandez (1998), “a componente energética não pode ser considerada de maneira estanque, mas, pelo contrário, em um contexto de diálogo com os demais critérios de projeto, e isso desde as fases iniciais do processo. O arquiteto deve, portanto, integrá-la o mais cedo possível aos parâmetros de projeto mais sensíveis de modificações”.

Isso demonstra que é possível construir edifícios altamente eficientes mudando a concepção inicial do projeto. Dessa forma, a eficiência energética em um projeto deve ser um dos pontos fundamentais para um projetista, e deve ser aplicada por meio de recursos de diferentes naturezas, desde o uso de materiais sustentáveis à geração de energia solar, entre outros.

Um instrumento para melhorar a eficiência energética de um edifício é a própria produção de energia. Esse objetivo pode ser alcançado por meio de sistemas solares integrados, como painéis fotovoltaicos desenvolvidos para a produção de energia elétrica, e coletores solares feitos para a produção de água quente. Nas últimas décadas, a utilização dessas tecnologias aumentou de maneira exponencial. A potência fotovoltaica instalada no mundo entre 2010 e 2012 quase dobrou, chegando a 67,3 GW (IEA, 2012).

Um dos projetos que faz um apanhado das tecnologias e das pesquisas para uma melhor eficiência energética nos edifícios residenciais, e que demonstra como é possível projetar casas altamente eficientes é justamente a *Ekó House*. Primeira participante brasileira da competição *Solar Decathlon*, a *Ekó House* apresenta uma importante oportunidade para poder se confrontar com países diferentes e comparar tecnologias e maneiras de projetar. Como ilustrado, o projeto da casa foi desenvolvido em busca do melhor desempenho do edifício em Madri no mês de setembro. Todas as tecnologias utilizadas, os materiais, as estratégias passivas e a projeção dos sistemas solares foram desenvolvidos visando ao melhor desempenho para a competição. Durante o processo de projeto, a equipe brasileira conseguiu estimar o consumo anual da casa, que será equivalente a 6297,88 kWh por ano,

sendo que 50% é causado pelo sistema de condicionamento da casa (3174,92 kWh/ano) para manter a casa na temperatura de conforto. Mesmo assim, o sistema fotovoltaico permite que a casa seja autossuficiente energeticamente com um balanço energético anual equivalente a 14859,12 kWh (PROJECT MANUAL SOLAR DECATHLON EUROPE, 2012).

A casa participou da competição do *Solar Decathlon* durante o mês de setembro de 2012. Concluída a competição e superadas todas as provas, a *Ekó House* classificou-se em 14º lugar.

Mas qual será o futuro da *Ekó House* depois da competição em Madri? Um projeto desenvolvido por mais de dois anos, que envolveu mais de 50 participantes, entre professores e estudantes, não pode ser esquecido depois da competição.

Uma vez encerrada a competição, os membros da equipe definiram como possível local futuro da casa *Ekó House* a cidade de Parati. Localizada em uma bela praia no litoral entre São Paulo e Rio de Janeiro, Parati foi fundada em 1667 e foi um importante porto para o transporte de ouro para Portugal. Hoje, é um destino para os turistas brasileiros e estrangeiros. Por conta de seu valor cultural, suas belas praias e áreas de preservação ambiental compõem mais de 80% da área do município. A escolha de colocar a *Ekó House* em Parati deve-se a diferentes fatores: falta de infraestrutura, ausência de conexão da área à rede elétrica, frágil ecossistema e atratividade natural para o turismo. Por essas razões, foi pensado em se utilizar a casa como residência turística e, ao mesmo tempo, a fim de fornecer a energia elétrica excedente para a comunidade de pescadores.

A possibilidade de se poder reutilizar esse modelo de casa em todo o Brasil, e não só na cidade de Parati, seria uma forma de se aproveitar o grande trabalho realizado pela equipe.

A partir desse questionamento, nasceu a proposta inicial para este trabalho de pesquisa: utilizar o modelo de partida da casa *Ekó House* para criar diferentes soluções projetuais dessa casa nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, por meio de três diferentes caminhos: entrevistas com os membros da equipe, normas brasileiras em matéria de eficiência energética e estudo bioclimático.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência energética da *Ekó House* no Brasil, fora do contexto do *Solar Decathlon*. O objetivo é verificar o desempenho energético da casa no território brasileiro, a fim de individualizar possíveis soluções projetuais que venham a aprimorar a eficiência energética da casa no Brasil.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a eficiência energética da casa *Ekó House* na cidade de Madri, local da competição do *Solar Decathlon*, segundo parâmetros residenciais.
2. Avaliar a eficiência energética da casa *Ekó House* nas diferentes cidades escolhidas nas zonas climáticas do Brasil por meio de três distintas formas de avaliação (Balanço Energético, método prescritivo do RTQ-R e método de simulação do RTQ-R) e comparar os resultados com a eficiência da casa na cidade de Madri.
3. Definir as alterações projetuais mais corretas por meio das entrevistas, das normas brasileiras em matéria de eficiência energética e da análise bioclimática das cidades brasileiras.
4. Avaliar modelos adaptados da casa para cada cidade diferente analisada, visando a melhoria da eficiência energética, comparando os resultados antes e depois das alterações projetuais.

### 1.2.3 Estrutura do trabalho

Esta pesquisa está estruturada em Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Discussões e Conclusões. O segundo Capítulo tratará da revisão bibliográfica, onde se estuda a importância da pesquisa, abrangendo primeiramente uma análise da competição *Solar Decathlon* e do seu regulamento e de pesquisas feitas

sobre as casas participantes em outras edições. Em seguida, será feita a descrição da casa *Ekó House* e análise de pesquisas sobre a eficiência energética nas edificações com o uso de energia solar, assim como a apresentação das normas brasileiras em matéria de eficiência energética e dos sistemas solares, que completam o Capítulo. O terceiro capítulo tratará da metodologia adotada no trabalho, descrevendo os três métodos de avaliação usados para obter os resultados esperados: Balanço Energético, método prescritivo do RTQ-R e método de simulação do RTQ-R. No quarto Capítulo, serão apresentados os resultados obtidos por meio do uso da metodologia anteriormente descrita, comparando os resultados entre as três diferentes metodologias. Tais resultados, como será visto, apresentaram, além da eficiência energética da *Ekó House* no Brasil, as alterações de projeto propostas para melhorar a eficiência energética da casa e os resultados da eficiência energética da casa com as mudanças de projeto. Por fim, no último Capítulo, serão apresentadas as conclusões, considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, que terão como tema a casa brasileira.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este Capítulo apresenta uma revisão da literatura existente estando dividido em seis partes:

1. Eficiência energética nas edificações
2. *Solar Decathlon* e estudo do regulamento da competição
3. Descrição da casa *Ekó House*
4. Normas brasileiras em matéria de eficiência energética
5. Bioclimatologia
6. Sistemas solares integrados

O objetivo é abordar a ligação existente entre a competição do *Solar Decathlon* e da casa brasileira com o estudo das normas brasileiras, da bioclimatologia, da eficiência energética e dos sistemas solares integrados. O último Capítulo, por sua vez, apresentará as pesquisas relacionadas com o presente trabalho.

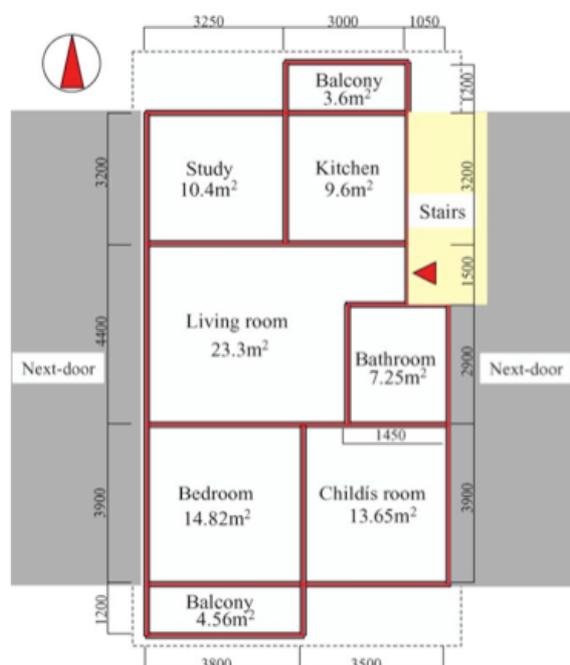
### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

Nas últimas décadas, o tema da eficiência energética nas edificações vem sendo cada vez mais discutido, desenvolvido e pesquisado, devido também à situação política econômica que o mundo está vivendo. Em todo o mundo, o setor que mais consome energia elétrica é o setor residencial (IEA, 2012). Nos Estados Unidos, primeiro país em termos de consumo de energia no globo terrestre, o setor residencial consome 35% de energia elétrica do país; tal consumo é devido principalmente ao uso de ar condicionado (PARKER, 2009). No México, país em forte desenvolvimento como o Brasil, estima-se que o número de edifícios residenciais dobrará até 2030, provocando um forte crescimento do consumo causado pelo setor residencial (GRIEGO *et al.*, 2012).

Esses cenários provocaram o desenvolvimento de numerosas pesquisas, no mundo todo, para melhorar a eficiência energética dos edifícios residenciais.

Yoshino *et al.* (2006) desenvolveram uma pesquisa na China sobre o conforto térmico interno e a energia consumida nos edifícios residenciais. Foram avaliadas mais de 100 apartamentos nas 14 cidades mais representativas chinesas em 4 diferentes zonas climáticas. Todos os

apartamentos analisados tinham características parecidas, como área e uso dos moradores (Figura 5). O objetivo da pesquisa era obter um quadro geral sobre as condições térmicas internas e o consumo dos apartamentos em todo o território chinês. Os resultados finais forneceram dados úteis para avaliar estratégias mais eficientes para melhorar o conforto interno e, ao mesmo tempo, melhorar a eficiência energética dos edifícios residenciais. Uma dessas estratégias é a introdução de sistemas de aquecimento mais eficientes e o isolamento térmico da envoltória. Dessa forma, será possível melhorar o conforto interno no inverno e reduzir o consumo de energia do apartamento. O isolamento térmico, ao mesmo tempo, melhorará a eficiência energética e o conforto interno da casa no período de verão.



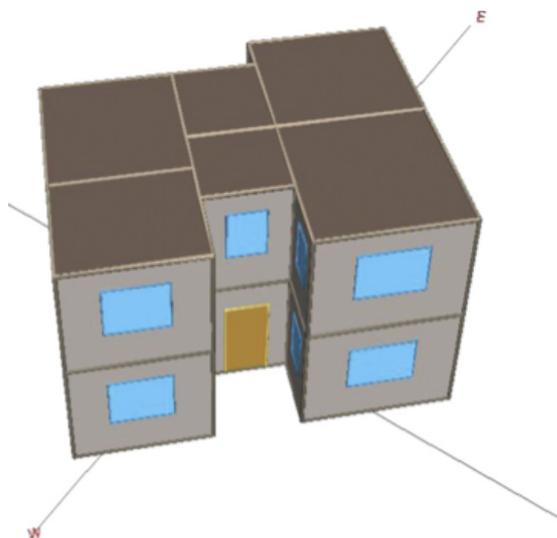
**Figura 5 – Apartamento do tipo analisado.**

Fonte: Yoshino *et al.* (2006).

IHM e KRARTI (2012) desenvolveram uma interessante pesquisa sobre a otimização da eficiência energética nos edifícios residenciais na Tunísia. O edifício modelo (Figura 6) foi criado baseado nas características volumétricas, segundo o padrão da família média tunisiana, e nas características técnicas de melhor eficiência energética. O edifício apresenta as seguintes propriedades:

- a) 2 pavimentos.
- b) Área: 221m<sup>2</sup>.

- c) Resfriamento: sistema de ar condicionado Split.
- d) Aquecimento: sistema de aquecimento a gás.
- e) Na análise, foram consideradas a orientação local e o tamanho da janela (do tipo com vidro), isolamento térmico das paredes e do telhado, luminárias e eletrodomésticos.



**Figura 6 – Edifício modelo.**

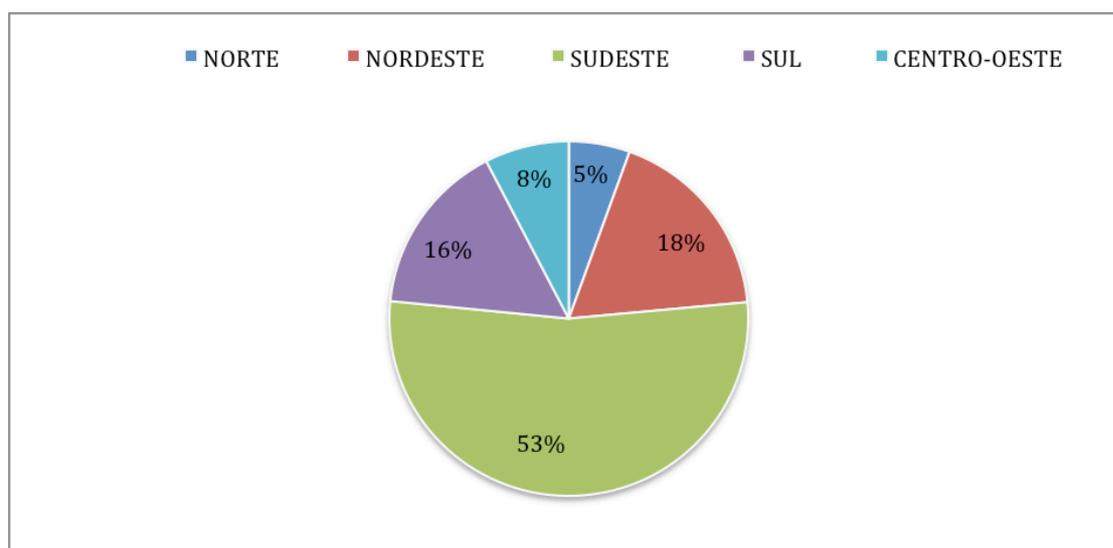
Fonte: Ihm e Krarti (2012).

A Tunísia é dividida em três zonas bioclimáticas. O modelo simplificado foi simulado em quatro cidades diferentes dentro dessas zonas. O resultado final foi que, por meio das estratégias usadas, obteve-se uma poupança de energia de 59% em comparação com as atuais práticas de construção de casas no país. Os resultados podem ser utilizados pelos proprietários e arquitetos na busca por um melhor desempenho dos edifícios residenciais na Tunísia.

### **2.1.1 Consumo de energia elétrica nos edifícios residenciais do Brasil**

No Brasil, 23,6% (BEN, 2012) da energia elétrica é consumida para esse fim. Mas como e qual forma esse consumo é distribuído no Brasil? Uma das primeiras pesquisas sobre o uso final de eletricidade nos edifícios residenciais no Brasil foi feita por Jannuzzi E Schipper (1991) em apenas algumas cidades no Estado de São Paulo. O Brasil é dividido em cinco regiões geográficas, que apresentam população e consumo de energia elétrica diferentes entre si. Por isso, o consumo de

energia elétrica se distribui de forma não uniforme no país (GHISI *et al*, 2007). A figura 7 mostra como é distribuído o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais no Brasil; em 2011, o consumo de energia elétrica continuou fortemente concentrado na Região Sudeste, com participação de 53%. Porém, a Região Nordeste, nos últimos dez anos, foi a região que mais cresceu em termos de consumo, com um crescimento de 3%. Já as Regiões Sul e Sudeste tiveram uma pequena contração nos consumos. Essa análise é fortemente relacionada com a densidade de população e a renda familiar no Brasil.



**Figura 7 – Consumo de energia elétrica nos edifícios residenciais por região geográfica em 2011.**

Fonte: Adaptado de BEN (2012).

A Tabela 1 mostra como mais de 60% dos domicílios no Brasil tem um consumo abaixo de 200 kWh/mês. Observa-se, também, como a porcentagem de habitações brasileiras com um consumo acima de 300 kWh/mês não tem grande diferença entre as regiões geográficas, ficando entorno de 15% nos edifícios residenciais.

**Tabela 1 – Ocorrência de faixa de consumo por região geográfica.**

Fonte: Morishita e Sinpha (2005).

Faixa de consumo [kWh/mês]	Região geográfica					
	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste
0 a 100	37,31	41,38	48,52	31,48	34,40	43,31
101 a 200	30,88	27,69	26,26	37,57	36,00	32,00
201 a 300	16,75	13,08	11,13	16,85	16,10	11,59
acima de 300	15,06	17,85	14,09	14,10	13,50	13,10

Na Tabela 2, são apresentadas, em valores relativos, as características dos domicílios em relação ao acesso à rede de energia elétrica e ao tipo de domicílio para o período de 2007 a 2009. É possível observar como a predominância dos domicílios do tipo casa ainda é muito forte no país, com cerca de 90%, e a ocorrência de domicílios do tipo apartamento é maior na Região Sudeste, em torno de 14% (IBGE, 2010).

**Tabela 2 – Características dos domicílios em relação ao acesso à rede elétrica e por tipo de domicílio.**

Fonte: Morishita e Sinpha, 2005 e IBGE (2010).

Região	Característica	2007	2008	2009
		[%]		
Norte	Iluminação elétrica	94,1	99,7	99,7
	Casa	98,1	94,7	95,1
	Apartamento	1,6	4,2	3,8
Nordeste	Iluminação elétrica	95,7	99,6	99,7
	Casa	94,2	91,1	90,4
	Apartamento	5,6	8,5	9,3
Sudeste	Iluminação elétrica	99,8	99,9	99,9
	Casa	86,1	84,8	85,1
	Apartamento	13,8	14,9	14,6
Sul	Iluminação elétrica	99,4	99,8	99,9
	Casa	90,3	85,3	86,1
	Apartamento	9,6	14,6	13,8
Centro Oeste	Iluminação elétrica	98,7	99,9	99,9
	Casa	93,3	90,0	89,9
	Apartamento	6,5	9,3	9,0
Brasil	Iluminação elétrica	98,2	99,8	99,9
	Casa	90,4	90,6	90,7
	Apartamento	9,5	9,3	9,2

A tipologia de habitação influi diretamente no consumo de energia elétrica, como mostra a Tabela 3, onde é apresentada a divisão de tipo de domicílio por faixa de consumo e por região geográfica, assim como o número de apartamentos com uma faixa de consumo acima de 300 kWh/mês tende a subir, e por outro lado, a porcentagem de casas com um consumo acima de 300 kWh/mês diminui (SINPHA, 2005).

**Tabela 3 – Tipo de domicílio por faixa de consumo e por região geográfica.**

Fonte: Adaptado de Morishita e Sinpha (2005).

Faixa de consumo	Tipo	Região geográfica					
		Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste
[kWh/mês]		[%]					
0 a 100	casa	89,1	89,6	96,3	87,1	81,6	86,1
	apartamento	10,6	8,1	3,7	12,5	18,4	13,9
101 a 200	casa	87,1	90,6	95,0	83,4	86,1	81,5
	apartamento	12,9	8,9	5,0	16,4	13,6	18,5
201 a 300	casa	81,7	92,9	90,6	80,5	87,0	75,0
	apartamento	17,9	5,9	8,6	19,2	13,0	25,0
acima de 300	casa	76,4	82,6	85,8	71,5	81,8	68,9
	apartamento	22,9	15,8	14,2	26,9	18,2	33,3

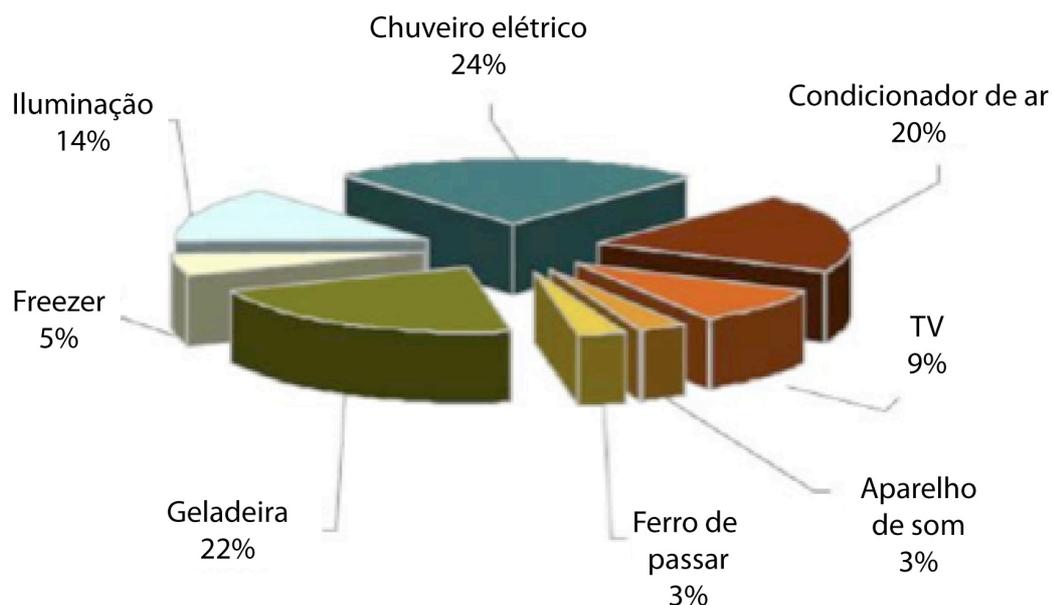
Enfim, segundo a pesquisa feita para MORISHITA, que resume os dados levantados de outros 7 estudos anteriores, o consumo nas edificações residenciais no Brasil é causado principalmente pelo uso do refrigerador, com 33% do consumo total, seguido do consumo do chuveiro elétrico com 22% (Tabela 4).

**Tabela 4 – Usos finais para o setor residencial brasileiro de acordo com sete diferentes estudos.**

Fonte: MORISHITA (2012).

Estudo	A1	B2	C3	D4	E5	F6	G7	Diferença máxima	Média dos estudos	
Uso final	[%]									
Refrigerador/Freezer	34	27	43	39	20	32	42	23	33	
Chuveiro elétrico	25	24	13	28	21	26	20	15	22	
Iluminação	21	14	8	19	12	24	11	13	15	
Ar condicionado	3	20	3	3	9	-	10	17	8	
Outros	17	15	33	11	38	18	17	8	23	
Ano de referência	2005				1998					

Segundo uma pesquisa mais recente, o consumo para o aquecimento de água quente resultou ser a causa principal de consumo em edifícios residenciais brasileiros (Figura 8) (NASPOLINI; RÜTHER, 2007).

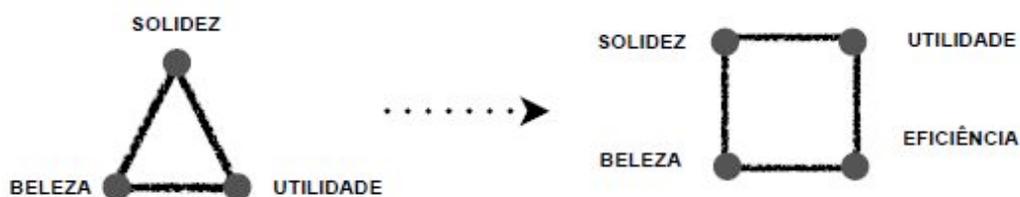


**Figura 8 – Consumo edifícios residenciais no Brasil.**

Fonte: Napolini e Rüter (2007).

Nota-se que, nas duas pesquisas, do consumo total, quase 80% é devido ao uso de chuveiro, geladeira, lâmpadas e condicionadores de ar. Um dado interessante é que o consumo de condicionadores de ar nas casas brasileiras cresceu muito nas últimas décadas: em 15 anos, aumentou quase 14% (LAMBERTS *et al.*, 2004). Essa alta porcentagem justifica-se tanto pelo crescente desenvolvimento social do país quanto pela baixa qualidade das construções.

Tais dados demonstram como o consumo das edificações residenciais é destinado a crescer nos próximos anos no Brasil. Para enfrentar esse desafio, é importante que a concepção de se projetar seja mudada, tentando buscar recursos para a eficiência energética. Segundo Lamberts *et al.* (2004), a eficiência energética pode ser compreendida como sendo a obtenção de um serviço com baixo gasto de energia, ou seja, um edifício será mais eficiente que outro se proporcionar as mesmas condições ambientais com um menor consumo de energia, atendendo às exigências básicas do usuário. O triângulo conceitual de Vitruvius, que mostra o equilíbrio das três qualidades necessárias para a Arquitetura (solidez, beleza e utilidade), pode ser transformado em um quadrado conceitual, acrescentando-se o vértice da eficiência energética (Figura 9) (LAMBERTS *et al.*, 2004). Com esse simples exemplo, pode-se entender como a eficiência energética é um elemento fundamental no projeto dos edifícios.



**Figura 9 – Conceitos clássico e atual para a Arquitetura.**

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2004).

A preocupação com a eficiência energética já na fase projetual de uma edificação é fundamental para garantir a economia de energia elétrica. “O projeto eficiente de uma residência e a escolha dos materiais utilizados podem reduzir em até duas vezes o consumo de energia em relação aos projetos convencionais” (GRIEGO *et al.* 2012). Quando os arquitetos trabalham integrando energia, luz natural e conforto, relacionados ao processo de projeto, o equilíbrio dessas variáveis pode gerar uma melhor eficiência energética, reduzindo os consumos (MARSH; LAURING, 2011). Conforme o Procel Edifica, estima-se um potencial de redução de consumo de aproximadamente 30% com a implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar-condicionado e intervenções arquitetônicas na envoltória, no que diz respeito às edificações existentes. Essa porcentagem se eleva para 50% em edificações novas (PROCEL, 2007).

Para enfrentar essa problemática cada vez mais latente, o projetista tem de se conscientizar e mudar a sua forma de projetar para reduzir o consumo devido, principalmente, aos sistemas de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água.

Com a procura de edificações mais eficientes, começaram a surgir os primeiros programas computacionais para simulação do desempenho de edificações. Um deles é o programa *Energy Plus*, que simula o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação relevantes no seu desempenho térmico e no consumo de energia da edificação. Esse programa apresenta três módulos básicos: módulo gerenciador da simulação, módulo de cálculo de cargas por meio do balanço térmico e módulo de simulação de sistemas. Fornece, também, dados de consumo de energia, cargas térmicas, PMV, simula o aproveitamento da luz natural, entre outros recursos, devido à atualização periódica do programa. Também considera fluxos de ar diferenciados por zonas, trabalha com sistemas modulares de climatização e pode simular dias de projeto, ao inserir dados durante a modelagem ou simular um ano inteiro com o arquivo

climático que contém 8.760 horas de dados climáticos do lugar, os quais incluem temperatura, umidade, radiação solar incidente no local, vento, pressão atmosférica, iluminância da abóbada celeste, entre outros (CRAWLEY *et al.*, 2001).

## 2.2 SOLAR DECATHLON

O *Solar Decathlon Europe* é uma competição entre universidades de todo o mundo que projetam e constroem casas autossuficientes energeticamente e operam somente com energia solar, contando com a implementação de tecnologias que darão à casa um uso eficiente dos seus recursos.

O *Solar Decathlon Europe (SDE)* foi criado por meio de um acordo assinado entre o Ministério da Habitação do Governo da Espanha e do Governo dos Estados Unidos, em outubro de 2007, os quais se comprometeram a organizar a competição de casas solares sustentáveis na Europa. O documento especifica que as competições europeias devem ser realizadas em anos alternados às competições Americanas (*SOLAR DECATHLON EUROPE*, 2012).

O objetivo da competição é contribuir para o conhecimento e a divulgação de habitações industrializadas, solares e sustentáveis. Os pontos de maior importância são:

- a) sensibilizar os alunos participantes da competição sobre os benefícios e oportunidades oferecidas pela utilização de energias renováveis e construção sustentável, desafiando-os a pensar de forma criativa e a desenvolver soluções inovadoras que contribuam para a economia de energia e fazendo-os perceber como isso afeta a vidas diárias das pessoas;
- b) incentivar os profissionais da construção a selecionar materiais e sistemas que reduzam o impacto ambiental de um edifício ao longo de sua vida útil, otimizando sua viabilidade econômica e proporcionando conforto e segurança aos ocupantes;
- c) educar o público em geral sobre o uso responsável de energia, energia renovável, eficiência energética e sobre as tecnologias disponíveis para ajudá-los a reduzir seu consumo de energia;
- d) no projeto da casa, o foco é reduzir o consumo de energia na construção e aumentar a sua eficiência energética, integrando

sistemas solares ativos e/ou outras tecnologias renováveis. Além disso, os sistemas de construção devem ser selecionados e dimensionados com base em critérios ambientais e de custo-benefício aceitáveis;

- e) promover a integração arquitetônica com o sistema solar, apropriando-se do material das placas a fim de substituir materiais de construção convencionais na envoltória do edifício, seja no telhado ou na fachada; e
- f) demonstrar que as casas solares são, sim, eficientes e, ao mesmo tempo, confortáveis, atraentes e acessíveis.

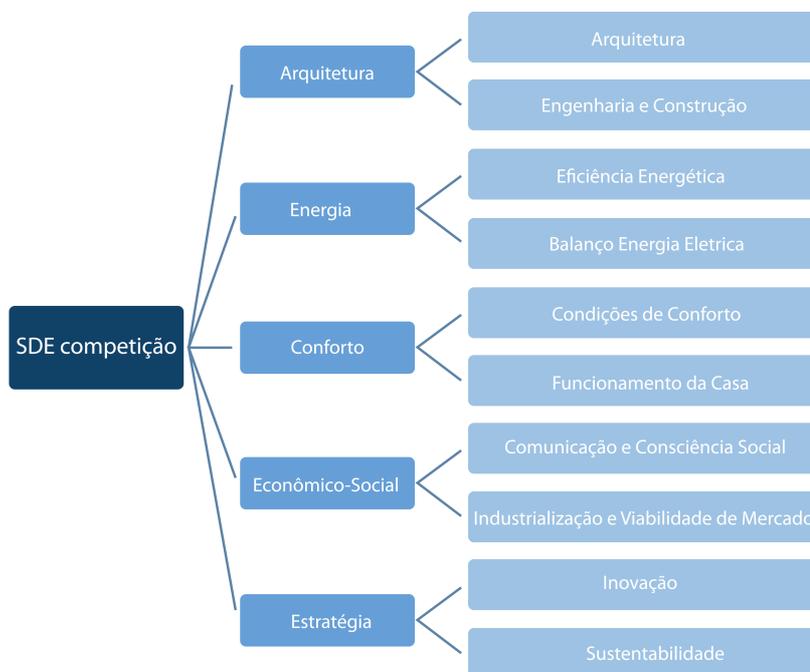
Os objetivos, sinteticamente expostos, da competição *Solar Decathlon Europe* estão diretamente ligados aos objetivos da União Europeia (UE), no que diz respeito à eficiência energética e à preservação ambiental. Os países membros da UE têm como objetivo, para 2020, a diminuição do consumo de energia de fontes não renováveis, incentivando projetos que fomentem a produção de energia limpa. Contando com isso, o *Solar Decathlon*, por meio de sua obra de divulgação, vem mostrar aos estudantes, profissionais e para o público em geral a importância da consciente utilização da energia limpa nas edificações. Essa ação é a maneira mais imediata e de baixo custo para se enfrentar os desafios energéticos europeus de sustentabilidade, garantindo fontes benéficas de abastecimento de energia e aumentando a competitividade no mercado imobiliário. As casas participantes do SDE apresentam soluções que contribuem para alcançar os objetivos da UE: economia de 20% no consumo de energia primária, redução de 20% das emissões de gases do efeito estufa e produção de 20% de energia proveniente de fontes renováveis.

### 2.1.1 A Competição

Para haver características em comum entre as casas competidoras, a organização do *SD* estipulou regras em relação ao projeto. As principais são:

- o tamanho dos lotes é 20 m x 20 m. As equipes devem executar todas as suas operações dentro dos seus terrenos, sem ultrapassar os limites em nenhuma hipótese;
- a área total da casa, que deve ser, no mínimo, de 45,00 m<sup>2</sup> e não deve exceder a 70,00 m<sup>2</sup>;
- a área da casa, somada às áreas externas (varandas, *deck*), pode ter, no máximo, 150,00 m<sup>2</sup>;
- a altura máxima das casas não pode superar a 6 m; e
- a potência máxima do projeto fotovoltaico deve ser de 10 kW.

Uma vez finalizada a construção da casa, as equipes participam de dez provas, divididas em cinco categorias principais: Arquitetura, Energia, Conforto, Socioeconômico e Estratégico (*SOLAR DECATHLON EUROPE – RULES, 2011*) (Figura 10).



**Figura 10 – Categorias das Provas do Solar Decathlon.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules* (2011).

Cada categoria tem um peso diferente na pontuação final das casas. Como mostra a Figura 11, arquitetura, balanço de energia elétrica, conforto e funcionamento dos equipamentos da casa têm uma relevância maior, se comparados aos outros itens. A equipe que obtiver a pontuação mais alta, entre 0 e 1000, ganha a competição. Desses 1000 pontos, 220 sofrem diretamente a influência do clima, porém as provas de arquitetura, eficiência energética e sustentabilidade, de forma indireta, têm uma relação com o clima, embora não quantificável em termos de ponto, sendo a pontuação atribuída de maneira subjetiva. As equipes participantes e o público visitante têm acesso a todas as informações relacionadas às casas, assim como às classificações, às tabelas, aos resultados de diferentes medições, entre outros.

Nº	Provas/Sub-Provas	Provas Pontuação	Sub/Provas Pontuação	Atribuído para
1	Arquitetura	120		Júri
2	Engenharia e Construção	80		Júri
3	Eficiência Energética	100		Júri
4	Balanço Energia Elétrica	120		
	4.1 Autonomia Elétrica		60	Monitoramento
	4.2 Correlação energética		40	Monitoramento
	4.3 Uso de eletricidade por área mensurável		20	Monitoramento
5	Condições de Conforto	120		
	5.1 Temperatura		70	Monitoramento
	5.2 Umidade		10	Monitoramento
	5.3 Qualidade do ar interno		5	Monitoramento
	5.4 Iluminação areá de trabalho		20	Monitoramento
	5.5 Acustica		15	Monitoramento
6	Funcionamento da Casa	120		
	6.1 Geladeira		5	Monitoramento
	6.2 Freezer		5	Monitoramento
	6.3 Lava roupa		20	Tarefa-Monitoramento
	6.4 Seca roupa		10	Conclusão da Tarefa
	6.5 Lava Louça		15	Tarefa-Monitoramento
	6.6 Aparelhos Casa		5	Tarefa-Monitoramento
	6.7 Forno		15	Tarefa-Monitoramento
	6.8 Fogao		15	Conclusão da Tarefa
	6.9 Água quente chuveiro		20	Conclusão da Tarefa
	6.10 Jantar		10	Convidados
7	Comunicação e Consciência Social	80		Júri
8	Industrialização e Viabilidade de Mercado	80		Júri
9	Inovação	80		Júri
10	Sustentabilidade	100		Júri

**Figura 11 – Pontuação Categorias Provas Solar Decathlon**

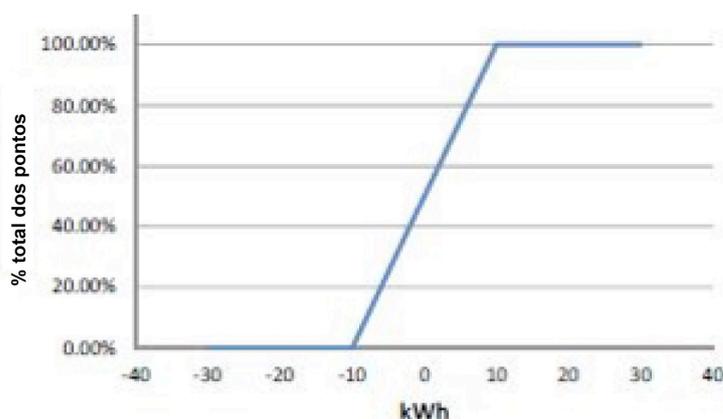
Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules (2011)*.

### 2.2.2 Provas

As casas participantes são avaliadas em dez provas diferentes:

- 1) **Arquitetura – 120 pontos:** as equipes são analisadas sobre a coerência do projeto, a flexibilidade do espaço, a integração das tecnologias com o projeto arquitetônico da casa e o uso das estratégias bioclimáticas.
- 2) **Engenharia e construção – 80 pontos:** nessa categoria, as equipes devem demonstrar o maior nível de funcionalidade da estrutura da casa, da envoltória, do projeto elétrico, do projeto fotovoltaico e do projeto estrutural, assim com a capacidade de integração e viabilidade no projeto.
- 3) **Eficiência energética – 100 pontos:** as equipes devem demonstrar de que maneira o projeto da casa, incluindo as tecnologias usadas, contribuem para aumentar a eficiência energética do edifício. Os juízes da competição avaliam a eficiência dos sistemas passivos (persianas, brises), dos sistemas ativos (aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação, água quente) e do aumento da eficiência devido ao sistema de controle, eficiência dos eletrodomésticos usados e eficiência anual estimada da casa.
- 4) **Balanço de energia elétrica – 120 pontos:** para avaliar o balanço energético, são feitas medições de consumo e ganho de energia durante a semana da competição. As casas devem demonstrar autossuficiência energética dada pela diferença entre a produção de energia elétrica solar e o consumo de uso de eletricidade.

4.1) Dos 120 pontos totais, 60 pontos são referentes à autonomia elétrica da casa durante a competição. Como mostra a Figura 12, para conseguir 100% dos pontos, a casa deverá ter um balanço superior a 10 kWh.



**Figura 12 – Pontuação Autonomia Elétrica nas semanas da competição.**

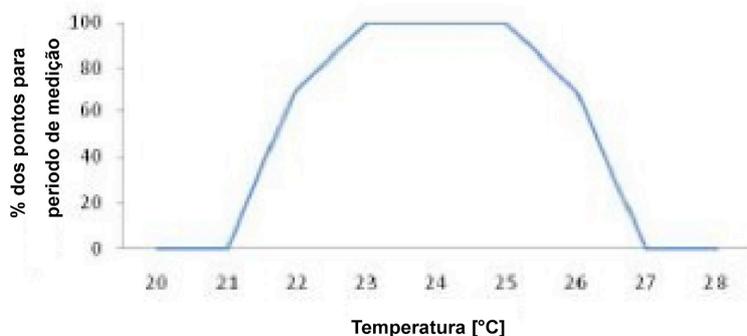
Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules* (2011).

4.2) Outros 40 pontos são assinados para correlação energética: quando o maior consumo da casa corresponde a uma maior produção de energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos. Assim, quando a relação entre a energia gerada e simultaneamente consumida e a energia consumida no dia forem igual a 1, ganham-se os 40 pontos.

4.3) Os últimos 20 pontos são assinados para a menor relação entre consumo de energia elétrica e área da casa; se duas casas consomem a mesma quantidade de energia e possuem áreas diferentes, obtém maior pontuação aquela que tiver a maior área.

**5) Conforto – 120 pontos:** o conforto interno da casa será avaliado por meio do controle da temperatura, umidade, acústica, iluminação e qualidade do ar interior.

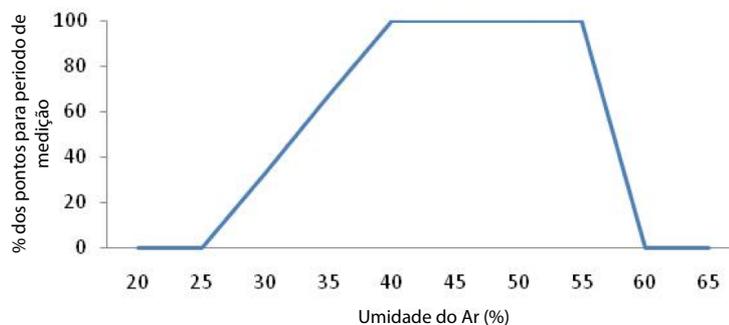
5.1) Para o nível de temperatura, são feitas medições durante a semana da competição. Para se obter a pontuação máxima (70 pontos), a temperatura interna deve estar entre 23° C e 25° C (*SOLAR DECATHLON EUROPE*, 2011) (Figura 13).



**Figura 13 – Pontuação Temperatura de conforto.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules* (2011).

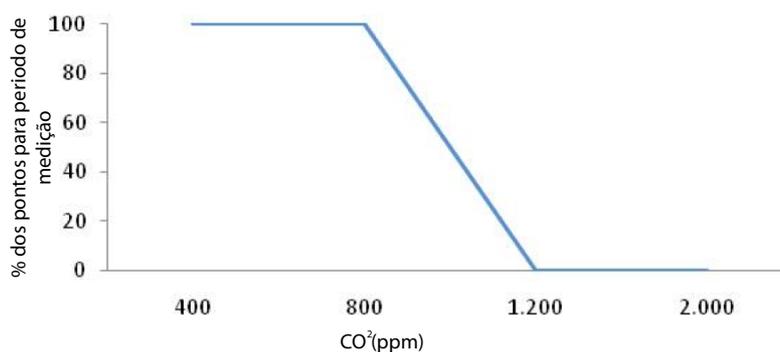
5.2) A umidade das casas deve estar entre 40%-55% para obter a pontuação máxima (Figura 14).



**Figura 14 – Pontuação Umidade do Ar.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules (2011)*.

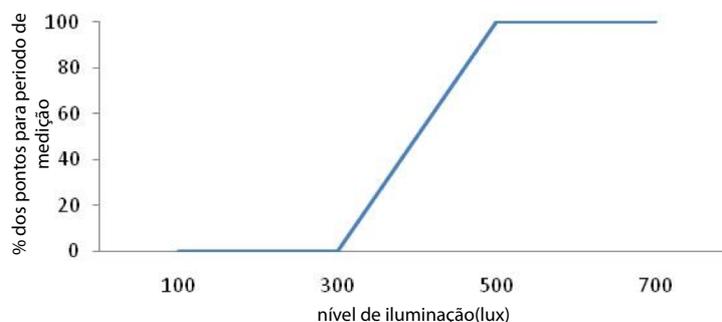
5.3) A qualidade do ar interno deve ter um nível abaixo de 800 ppm para obter 5 pontos (Figura 15).



**Figura 15 – Pontuação emissões de CO<sub>2</sub>.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe – Rules (2011)*.

5.4) O nível de iluminação na área de trabalho, para obter os 20 pontos, deve ser maior do que 500 lux durante o tempo de medição (Figura 16).



**Figura 16 – Nível de iluminação.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe - Rules (2011)*.

5.5) As medições de acústica são feitas para avaliar a capacidade das paredes externas de refletir o som, obtendo a pontuação máxima com um valor superior a 45 dB.

**6 ) Funcionamento da casa – 120 pontos:** uma das categorias com maior peso na pontuação final é a avaliação da eficiência e o correto funcionamento dos aparelhos eletrônicos presentes na casa, a fim de maximizar o seu desempenho, respeitando os padrões exigentes da sociedade atual.

**7) Comunicação e consciência social – 80 pontos:** nessa prova, é avaliada a capacidade de comunicação das equipes. São consideradas formas criativas, eficazes e eficientes de transmitir os tópicos (inovação, sustentabilidade e eficiência energética) e a importância do projeto desenvolvido pela equipe.

**8) Industrialização e viabilidade de mercado – 80 pontos:** as casas devem demonstrar a possível reprodução industrializada no mercado, permitindo uma fácil reprodução do edifício e uma viabilidade no mercado de construção imobiliária.

**9) Inovação – 80 pontos:** para avaliar o grau de inovação das casas, avalia-se o uso de tecnologias inovadoras e revolucionárias em seus sistemas ou em seus componentes, a fim de melhorar a qualidade do edifício ou aprimorar o seu desempenho e eficiência.

**10) Sustentabilidade – 100 pontos:** as casas também são avaliadas sobre a sustentabilidade do projeto (projeto da casa, técnicas, sistemas e componentes) para atingirem a redução máxima do impacto negativo sobre o ambiente, durante toda a sua vida útil: fabricação dos componentes da casa, construção, vida do edifício até a demolição (*Solar Decathlon Europe*, 2011).

### 2.2.3 Casas das competições

Durante os dez anos de *Solar Decathlon*, participaram mais de 100 equipes de diferentes países. Só na competição de 2012, foram 18 equipes de 11 países, todas elas com características diferentes, começando pela concepção de projeto, arquitetura, tecnologias usadas, estratégias bioclimáticas ativas e passivas. A Figura 17, a seguir, mostra

uma breve ilustração das casas participantes na competição mais recente (neste ano), em ordem de classificação final no *Solar Decathlon*.

	CASAS	Pontuação Final	Area Construida [m <sup>2</sup> ]	Potencia Fotovoltaica instalada [kW]	Producao Energetica estimada(kWh/ano)	Consumo Energetico estimado(kWh/ano)	Upar (W/m <sup>2</sup> k)	Ucob (W/m <sup>2</sup> k)	Particularidades
	1 Canopea (FRA)	908.72	195.9	10.7	12,733	6,305	0.0875	0.0796	2 Pisos- Brises em aluminio 4 fachadas
	2 Patio 2.12(ESP)	897.39	107.13	11.3	16,378	2,982	0.2	0.18	Patio central- 4 ambientes divididos
	3 Med in Italy (ITA)	863.49	75.57	11.4	9,330	5,070	0.177	0.14	Paineis fotovoltaicos nas fachada Leste-Oeste
	4 Ecolar Home (ALE)	835	114	13.3	14,371	5,480	0.05	0.13	Brises de madeira-Iluminação fibra optica
	5 Counter Entropy House(ALE)	819.31	49.1	6.75	8,886.60	6,365	0.092	0.075	Revestimento parede CD reciclados
	6 Odoos (HUN)	766.98	92.56	9.3	13,301	5,775	0.158	0.153	Patio Central - Cor involucro preto
	7 SMLsystem(ESP)	765.98	124.6	7.12	7,680	4,960	0.13	0.35	Brises verticais de madeira
	8 (e)co(ESP)	731.57	150	4.6	5,900	4,222	0.331	0.302	Estufa como involucro externo
	9 Prispa(RUM)	719.16	116.85	8	11,594	6,435	0.152	0.142	Sótão
	10 Fold(DIN)	715.59	105.31	9.2	11,391	6,076	0.095	0.096	Forma irregular-grandes aberturas Norte-Sul
	11 Para Eco-House(CHI)	686.88	128	8.76	15,857	4,273	0.12	0.12	Paineis girasso- Brises leste oeste madeira
	12 EkiHouse(ESP)	684.2	51	11.98	13,740	5,856	0.325	0.24	Persianas em aluminios Norte-Sul
	13 Sumbiosis(FRA)	674.8	83	6.2	9,550	5,720	0.157	0.146	Sistema Solar-Usa de lente Fresnel
	14 Eko House(BRA)	670.99	55.6	11.04	21,157	6,836	0.22	0.22	Brises verticais Leste Oeste em bambu
	15 Omotenashi House(JAP)	641.91	54.38	11.35	13,374	8,302	0.137	0.192	Varandas nas 4 fachadas
	16 cem' casas em movimento(POR)	538.29	83.5	9.24	12,220	3,885	0.26	0.33	Movimento da casa de 180°
	17 Astonyshine(ITA-FRA)	416.49	96.73	11.35	15,000	6,100	0.11	0.125	Estrutura em pedra
	18 Casa pi Unizar	371.48	64.6	8.8	10,080	4,728	0.27	0.3	Forma redonda- Paineis fot. guardacorpo

**Figura 17 – Casas do Solar Decathlon 2012.**

Fonte: *Solar Decathlon Europe* (2012).

Para ter uma visão mais completa das casas participantes e das suas evoluções, serão apresentadas algumas casas das competições do ano passado e das edições anteriores. Veja a seguir:

- **Canopea**: projetada pela Universidade de Arquitetura de Grenoble, a casa francesa competiu no *Solar Decathlon 2012* em Madri, ganhando a competição, com 908,72 pontos. O conceito da casa é totalmente inovador, criando uma edificação de dois pisos, onde o primeiro piso é um grande ático aberto. A grande inovação no projeto que ganhou a recente competição foi criar uma casa que pensa na possível utilização futura além do SDE. Por isso, o projeto cria a possibilidade de integrar a casa a uma edificação multifamiliar, sendo os

últimos dois pisos de cobertura do edifício destinados à moradia. Além do ótimo desempenho da casa nas provas de inovação e arquitetura, a excelente atuação na prova de conforto confirma também como a utilização de sistemas passivos, como a varanda-corredor que circunda o perímetro da casa e os elementos de sombreamento, são frutos de um estudo aprofundado. Enfim, os painéis fotovoltaicos colocados na cobertura plana fornecem uma produção energética maior do que 12.000 kWh por ano (CANOPEA, 2012) (Figura 18).



**Figura 18 – Casa Canopea.**

Fonte: Disponível em: <<http://www.designboom.com/2013>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

- **Lumenhaus**: projetada pela Universidade de Arquitetura da Virginia, a casa americana competiu no *Solar Decathlon 2010* em Madri, ganhando a competição, com 811,83 pontos. Inspirada no pavilhão de vidro *Farnsworth House*, projetado pelo arquiteto da Bauhaus Mies Van Der Rohe, a casa, constituída de um pavimento, cria internamente um espaço completamente aberto que permite uma forte relação de toda a edificação com o espaço externo. A casa foi projetada para ser extremamente flexível, a fim de se adaptar às necessidades de mudança do proprietário, diárias, ou dependendo das circunstâncias da vida. Cada espaço tem atividades específicas, ao mesmo tempo em que é flexível de maneira tal que o usuário pode ter a opção de alterar as áreas para as suas próprias necessidades. O sistema de aquecimento-resfriamento é feito por meio do piso radiante, pois permite uma grande economia de energia e, ao mesmo tempo, permite manter as condições

de conforto interno. A tecnologia de sombreamento usada na casa (sistema *eclipsis*) permite a correta iluminação interna e, simultaneamente, a possibilidade de controlar o ganho de calor interno por radiação. Todas as tecnologias da casa são controladas por meio de um sistema de automação centralizado (LUMENHAUS, 2010) (Figura 19).



**Figura 19 – Casa Lumenhaus**

Fonte: Disponível em: <<http://architecture4us.com/house/the-sustainability-of-modular-lumenhaus/2013>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

- ***Element House***: projetada pela Universidade do Illinois, a casa competiu no *Solar Decathlon 2007* em Washington D.C., classificando-se em 9º lugar, com 886,9 pontos. O edifício foi concebido com três módulos separados; cada módulo tem um ambiente diferente (quarto, cozinha e sala), com uma área total de 53,50 m<sup>2</sup>. Um dos elementos caracterizantes da casa são os três telhados separados com os painéis fotovoltaicos integrados, que fornecem a energia suficiente para o consumo da casa. O projeto foi desenvolvido por meio de simulações para o melhor desempenho na competição, seja em termos de eficiência energética como de conforto. Na parte de conforto visual e térmico, foi feito um estudo para um melhor aproveitamento da luz solar e, ao mesmo tempo, um menor ganho de calor (WANG *et al.*, 2009) (Figura 20).



**Figura 20 – Casa Element House.**

Fonte: Wang *et al.*,(2009)

- **BeauSoleil**: projetada pela Universidade de Louisiana, a casa competiu no *Solar Decathlon 2009* em Washington D.C., classificando-se em 19º lugar, com 603,8 pontos. O edifício, de forma retangular, tem uma área de 73,00 m<sup>2</sup> e é composto por uma cozinha, uma sala, um quarto e um banheiro. Os painéis fotovoltaicos instalados em todo o telhado produzem energia suficiente para satisfazer os consumos da casa. Foram instalados 39 módulos fotovoltaicos de dois modelos diferentes, com potência de 195 W e 205 W. Porém, ainda assim, a energia produzida não foi suficiente para satisfazer o consumo – 70 kWh – durante os dias da competição, devido às condições climáticas não favoráveis. Outro elemento caracterizador da *BeauSoleil* é a estrutura do edifício em módulos para uma montagem mais fácil e reprodução em dimensões diferentes (HENRY *et al.*, 2009) (Figura 21).



**Figura 21 – Casa BeauSoleil.**

Fonte: Henry *et al.* (2009).

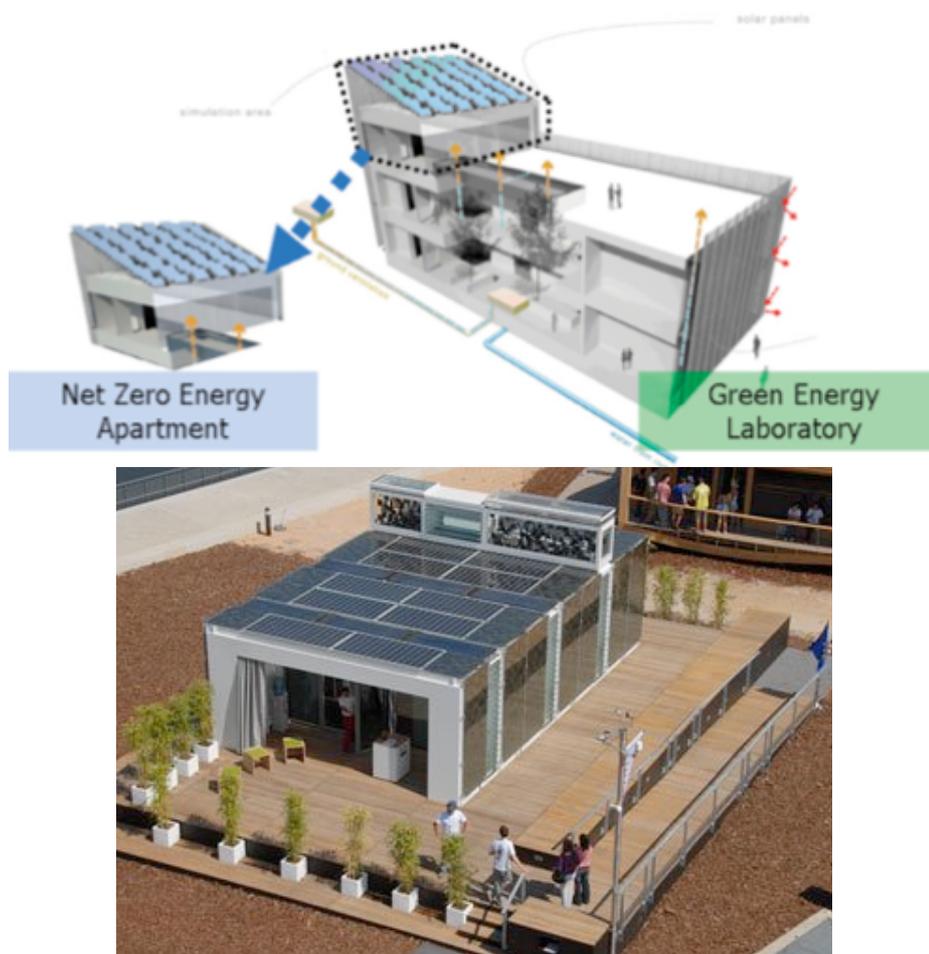
- **Sunflower**: projetada pela Universidade do Tianjin, na China, a casa competiu no *Solar Decathlon* 2010 em Madri, classificando-se em 16º lugar, com 584,8 pontos. O edifício tem uma área de 74,00 m<sup>2</sup> e foi projetado por meio de um estudo bioclimático com utilização de estratégias bioclimáticas e sistemas solares. As persianas nas janelas reduzem o ganho de calor no edifício juntamente com o uso da ventilação cruzada, que caracteriza o projeto. O uso de coletores solares colocados no telhado satisfaz o consumo de água quente, e os módulos fotovoltaicos, também colocados no telhado e nas paredes, têm uma capacidade estimada de 8620 kWh por ano (YANG XIANGQUN; GAO HUI, 2011) (Figura 22).



**Figura 22 – Casa Sunflower.**

Fonte: Yang Xiangqun e Gao Hui (2011).

DENG *et al.* (2011) fizeram uma pesquisa onde analisaram o balanço energético da casa *Home+*, participante do *SDE* de 2010 em Madri, projetada pela Universidade de Stuttgart, vencedora do prêmio para as inovações, e de um apartamento altamente eficiente (Figura 23). Os dois edifícios foram simulados em duas cidades com condições climáticas diferentes, como Madri e Xangai.



**Figura 23 – Edifício em Xangai e casa do Solar Decathlon HOME+.**  
 Fonte: DENG *et al.* (2011).

Antes de avaliar os edifícios nas duas diferentes cidades, foi feita uma análise climática das cidades das simulações. Os dois edifícios, em seguida, foram simulados nas duas cidades para que se pudesse comparar a eficiência energética deles. Os parâmetros usados para simular o uso dos dois edifícios de pesquisa foram os seguintes:

- a) uso da casa por um casal;
- b) temperatura interna entre 20° e 26°C; e
- c) umidade relativa entre 40 e 65%.

O resultado final foi que a casa projetada pela Universidade de Stuttgart, participante da competição em Madri (casa *Solar Decathlon*), resultou em um balanço energético melhor nas duas cidades simuladas, tendo um consumo menor e uma geração de energia fotovoltaica maior no apartamento de Xangai. Esse resultado demonstra como a *Home+*,

mesmo sendo projetada para a cidade de Madri, teve um desempenho energético 20% melhor em Xangai e 25% melhor na cidade de Madri.

### 2.3 EKÓ HOUSE

O projeto para a participação do *Team Brasil* no *SDE* teve início em 2008, quando o comitê organizador do *Solar Decathlon* convidou o Brasil para participar da seleção para a participação da competição no ano de 2010, em Madri. Dessa forma, a equipe, composta por seis universidades (USP, UFSC, UFRGS, Unicamp, UFRJ e UFMG), começou o processo de projeção da casa para participar do *SDE* (KOS, 2010).

Inicialmente, com o nome *Solar Flex*, o desenho da habitação se apresenta com uma forma moderna e minimalista; a casa, de forma retangular, tem um área interna de 42 m<sup>2</sup>. Internamente, a casa *Solar Flex* é composta de um único grande ambiente com uma pequena cozinha, uma sala de estar, um quarto e um banheiro. Externamente, os elementos característicos são a cobertura plana, com o sistema fotovoltaico, e a fachada principal, com elementos de sombreamento de madeira (CONSÓRCIO BRASIL/*SDE*, 2010) (Figura 24).



**Figura 24 – Casa Solar Flex.**

Fonte: CONSÓRCIO BRASIL/*SDE* (2010).

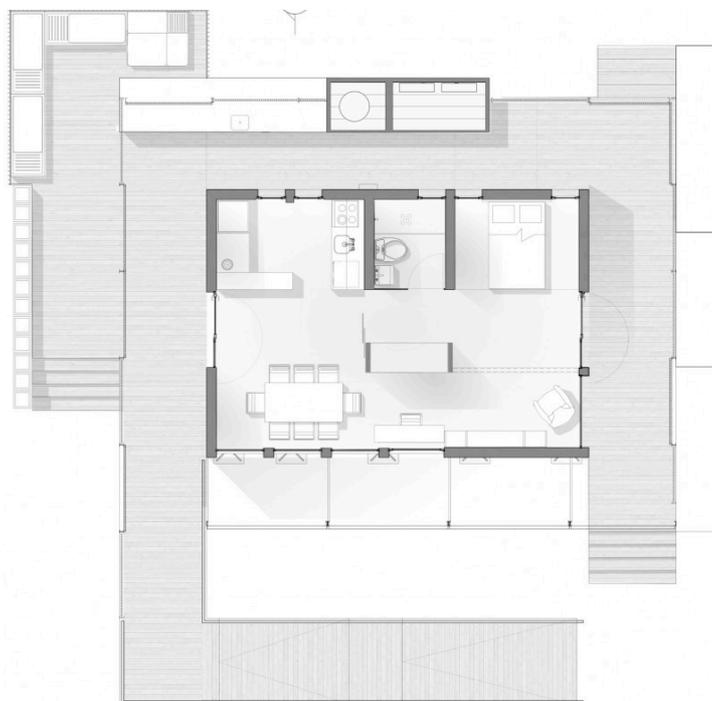
Apesar de muito trabalho, a equipe brasileira não conseguiu finalizar o projeto da casa *Solar Flex*, tendo que desistir da competição

do *SDE* de 2010. Mesmo assim, o comitê organizador convidou a equipe *Team Brasil* a participar da competição de 2012, na cidade de Madri.

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade de São Paulo (USP) se juntaram em 2010 para continuar o trabalho de projeção da casa, mudando o projeto da habitação *Solar Flex* para se adequar ao novo regulamento da competição (dimensões mínimas da casa aumentaram) e tentar manter o projeto original. Foi assim que nasceu o projeto competidor brasileiro da *SDE*: a *Ekó House*.

O nome *Ekó House* associa a palavra “*Ekó*” – originária da língua Tupi-Guarani, que significa estilo de vida ecológico – com a palavra “*House*” – do inglês, que significa casa. Por essa razão, o projeto todo é baseado na utilização de materiais naturais e técnicas de arquitetura bioclimáticas inspiradas nas casas das populações indígenas nativas brasileiras.

A *Ekó House* é uma pequena casa de forma retangular com uma área interna de 48 m<sup>2</sup>, um pouco inferior à área média das habitações brasileiras, que é entre 51 e 75 m<sup>2</sup> (FEDRIGO, 2009). O projeto é composto por uma cozinha, uma sala de jantar, uma área de estudo, um quarto e um banheiro. A orientação principal é Norte-Sul, para um maior ganho de energia solar (Figura 25).



**Figura 25 – Planta Baixa da Ekó House.**

Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

O telhado inclinado, onde são colocados os módulos fotovoltaicos e os coletores, é o elemento caracterizante desse edifício, juntamente com os brises de bambu externos. A casa inteira é levantada a 60 cm do solo para estar em conformidade com as regras da competição. O acesso à *Ekó House* pode ser feito por meio de uma rampa externa que leva a uma ampla varanda, a qual circunda o perímetro do edifício (Figura 26) (*PROJECT MANUAL SOLAR DECATHLON EUROPE*, 2012).



**Figura 26 – Ekó House – projeto da casa brasileira.**

O projeto *Ekó House* incorporou estratégias tradicionais da cultura brasileira (brise de bambu, varanda ao redor da casa, *layout* interno), adaptadas ao clima de Madri. A equipe estudou sistemas inovadores para melhorar a eficiência energética da casa, juntamente com as melhores condições de conforto dos moradores. Foi feito um estudo aprofundado das condições climáticas de Madri em setembro, mês da competição, resultando na necessidade de resfriar a casa durante o dia e aquecê-la durante a noite.

Dessa análise climática, foram desenvolvidas diferentes estratégias passivas e ativas para melhorar a eficiência e, ao mesmo tempo, criar as melhores condições de conforto da casa.

### 2.3.1 Envoltória

A *Ekó House* tem um eixo Leste-Oeste, com uma fachada Sul envidraçada para permitir o ganho de calor no inverno, com a incidência de luz solar direta, tendo, ainda, persianas automatizadas em alumínio para proteger a casa da radiação solar durante o período de verão. A fachada Norte é a menos envidraçada, com três janelas pequenas, o que possibilita uma iluminação natural de maneira uniforme, e, ao mesmo tempo, permite uma ventilação cruzada em todos os ambientes. Nas fachadas Leste e Oeste, grandes portas-janelas abertas para a varanda externa são protegidas por elementos de sombreamento de bambu, que caracterizam o projeto. Esses elementos em bambu são móveis e permitem um maior controle de luz natural e de calor na casa.

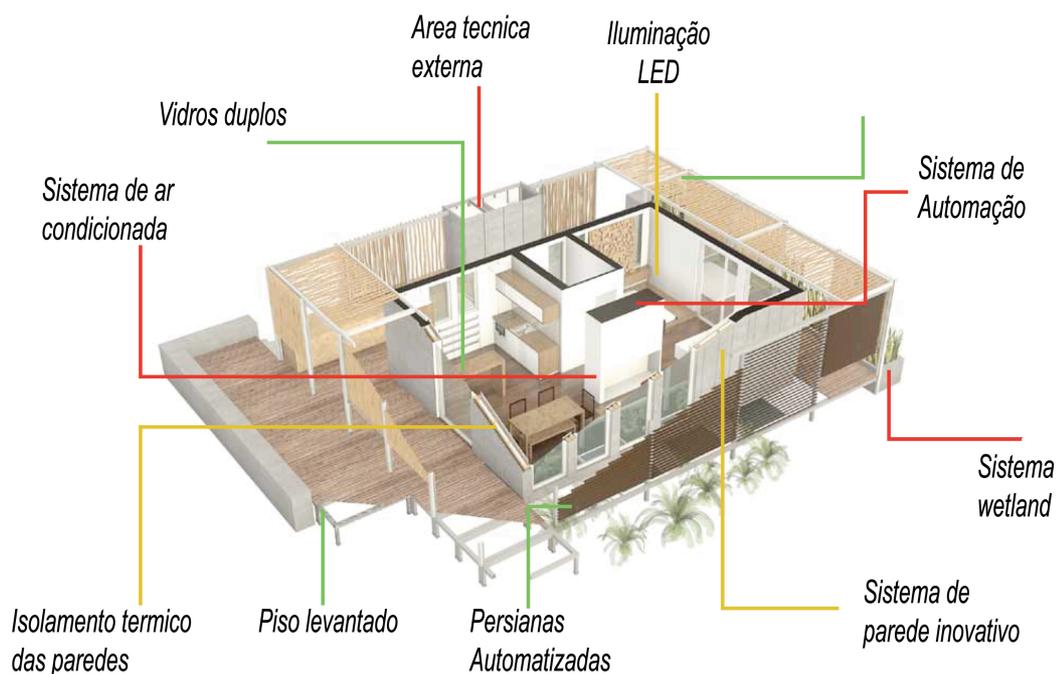
As paredes do edifício são constituídas de painéis *Oriented Strand Board (OSB)*. Compostos de acabamento externo de fibrocimento e, internamente, de um isolamento com lã de vidro e aerogel entre dois painéis de madeira, os painéis apresentam uma transmitância térmica de  $0,22 \text{ W/m}^2\text{k}$ . A capacidade térmica da envoltória é baixa devido à pouca massa dos materiais usados. A absorvância das paredes é próxima de 0,65 devido à cor cinza das placas de fibrocimento. Nas janelas da casa, são utilizados vidros duplos com uma camada de ar entre eles, de 6 mm, para um melhor isolamento térmico do edifício. Dessa forma, a *Ekó House* apresenta um isolamento térmico que gera um ambiente interno confortável durante os períodos frios do ano (Tabela 5).

**Tabela 5 – Características térmicas da envoltória.**

Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

Layer	Área( m <sup>2</sup> )	U(W/m <sup>2</sup> K)	Ct (KJ/m <sup>2</sup> K)	$\alpha$
Paredes externas	42,31	0,22	112,75	0,65
Paredes internas	12,74	-	-	0,2
Piso	48	0,22	112,75	-
Cobertura	48	0,22	112,75	0,1
Vidros	25,46	1,331	-	-

Um sistema de captação de água da chuva permite a reutilização da água para o uso de irrigação do jardim. Para o tratamento dos efluentes, é utilizado o sistema *wetland*, que diminui o impacto da ocupação da casa no meio ambiente, limpando as águas negras por meio de plantas que aceleram o processo anaeróbico de decomposição (Figura 27) (*PROJECT MANUAL SOLAR DECATHLON EUROPE*, 2012).



**Figura 27 – Ekó House: estratégias passivas e ativas.**

A casa é formada por módulos a fim de facilitar o transporte e a montagem para a competição e também para uma futura reprodução.

### 2.3.2 Estratégias Ativas

Por meio de simulações computacionais feitas durante o projeto da casa, apurou-se que utilizar somente estratégias passivas não é suficiente para que se consigam os melhores índices de conforto na casa. Para aquecer e resfriar o ambiente interno, foi instalado um sistema à bomba de calor em duas unidades internas, do tipo *split*, montadas no teto da edificação, sendo um localizado na entrada, entre a sala de jantar e a cozinha, e outro localizado entre o quarto e a sala de estar. O sistema de condicionamento de ar entra em funcionamento automaticamente quando a temperatura sai da faixa de conforto estabelecida na competição, que é de 23°C e 25°C. Na tabela 2, são indicadas as características técnicas do sistema de ar condicionado; além da potência, o coeficiente de *performance*, COP, que analisa a capacidade de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor, deve ser o maior possível, assim como a capacidade do aparelho em Btu/h.

**Tabela 6 – Consumo e potência de equipamentos da Ekó House**Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

Condicionamento de ar Bomba de calor	Potência (W)	COP	Btu/h
Aquecimento	4440	3,7	15153,72
Resfriamento	4820	3,49	16450,66
Compressor	3500	-	11945,50

Juntamente com esse sistema de controle da temperatura, foram instalados dois aquecedores por radiação, um na cozinha e outro no quarto, que permitem o aquecimento da casa. Esse sistema foi instalado para se ter uma alternativa a mais no inverno, a fim de aquecer o ambiente interno, diminuindo o gasto de energia pelo uso da bomba de calor.

**Tabela 7 – Consumo e potência de equipamentos da Ekó House.**Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

Equipamento	Consumo mensal [kWh]	Potência [W]
TV	0,09	92
Aparelho de som	0,15	150
Laptop	0,10	95
Fogão	1,00	1000
Forno	3,50	3500
Geladeira	0,07	67
Lavalouça	1,05	1050
Lava-Seca roupa	3,20	3200
Liquidificador	0,40	400
Iluminação Int	-	277
Iluminação Ext	-	140

Os eletrodomésticos utilizados na casa são energeticamente eficientes, com uma classificação energética de nível A. Como os eletrodomésticos, a iluminação utilizada também é extremamente eficiente sendo todas luminárias utilizadas de LED (Tabela 3). A eficiência média das lâmpadas é de 60 lm/W.

### 2.3.3 Tecnologias Solares

Para satisfazer o consumo de energia elétrica, no telhado da *Ekó House*, foram instalados 48 painéis fotovoltaicos. Os módulos se integram perfeitamente com o projeto da casa, não comprometendo o *design* do edifício. O modelo dos painéis é o SPR 230WHT, da *Sun Power Corporation*, que fornece uma eficiência de 18,1% na produção de energia. A inclinação dos módulos fotovoltaicos é de 15° e a

orientação é perpendicular ao Sul (melhor orientação no hemisfério Norte). A inclinação utilizada não é a melhor para as condições de Madri em setembro por causa das limitações do regulamento do *Solar Decathlon*, que não permite uma inclinação superior a 15°. A potência total instalada é de 11.04 KWp para uma área de 66.65 m<sup>2</sup>. O modelo dos 2 inversores instalados é SMC5000A, com uma eficiência igual a 96,1%.

No telhado, juntamente com os painéis fotovoltaicos, foram colocados quatro coletores solares que fornecem a água quente necessária para a *Ekó House*. Os coletores solares são alemães, do modelo SOLTERM-PU200/5, de tipo a vácuo U-pipe, formados por 10 tubos com diâmetro de 47 mm. A água quente é armazenada em um *boiler* térmico, em aço inox, de 300 litros.

### 2.3.4 Análise eficiência energética da *Ekó House* em Madri

Para verificar e conhecer a eficiência energética da *Ekó House* na cidade de Madri, antes da participação na competição, o *Team Brasil* simulou o comportamento energético da casa por meio do programa *Energy Plus 6.0*. As simulações foram feitas considerando, como temperatura de conforto interno, 23-25 °C, de acordo com as regras da competição. O uso dos equipamentos e da iluminação foi estabelecido de acordo com as Tabelas 8 e 9.

**Tabela 8 – Uso de equipamento para simulações.**

Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

EQUIPMENT	AREA	CONSUMPTION	POWER
		[kWh]	[W]
TV	living dining	0,09	92,00
Soundbar / DVD	living dining	0,15	150,00
Laptop	living dining	0,10	95,00
Cooktop	Kitchen	1,00	1000,00
Cabinet hood	Kitchen	0,40	400,00
Oven	Kitchen	3,50	3500,00
Biplex refrigerator	Kitchen	0,07	67,00
Dishwasher	Kitchen	1,05	1050,00
Blender	Kitchen	0,40	400,00
Clothes Washer	Exterior	1,22	1220,00
Clothes dryer	Exterior	2,00	2000,00

**Tabela 9 – Uso de iluminação para simulações.**Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

	AREA	LIGHT TECHNOLOGY	POWER	TOTAL POWER	SUB TOTAL BY AREA	QUANTITY	UNIT	DIMMER	TYPE OF LAMP
			[W per unit]	[W]	[W]				
L1	living dining	LED	4,5	198	226,5	44	unit	yes	ceiling
L2	living	LED	7,5	7,5		1	unit	no	table
L3	workstation	LED	7,5	7,5	7,5	1	unit	yes	table
L4	living dining	LED	7	21		3	unit	no	ceiling
L5	kitchen	LED	4,5	13,5	13,5	3	unit	no	embedded
L6	room	LED	4,5	31,5	42,7	7	unit	yes	ceiling
L7	room	LED	0,04	11,2		280	cm	no	embedded
L8	bathroom	LED	4,5	22,5	22,5	5	unit	no	ceiling
L9	mech equip	LED	19	57	57	3	unit	no	-
L10	veranda	LED	4,5	103,5	103,5	23	unit	yes	ceiling
			TOTAL	473,2	473,2				

As simulações avaliaram não apenas o breve período da competição, mas também o balanço energético anual na cidade de Madri. O resultado final foi que a casa tem um consumo anual de 6297,88 kWh/ano, onde mais da metade desse consumo (3174,92 kWh por ano) é causado pelo uso do sistema HVAC, que mantém a casa em uma situação de conforto térmico. A produção de energia fotovoltaica será equivalente a 21157 kWh por ano, para um balanço energético anual de 14859,12 kWh.

### 2.3.5 Classificação da *Ekó House* na competição

No dia 14 de setembro de 2012 teve início a competição do *Solar Decathlon* em Madri. As 18 equipes participantes tiveram de enfrentar as 10 provas durante duas semanas. No final da disputa, a *Ekó House* classificou-se em 14º lugar, com uma pontuação total de 670,99 pontos. A Tabela 10 apresenta o desempenho da casa brasileira.

O melhor resultado obtido pela *Ekó House* foi na prova de sustentabilidade, quando obteve a terceira posição, com pontuação de 91,80. Também obteve boa pontuação nas provas de conforto e comunicação, onde se classificou em 5º lugar. Com 99,32 pontos obtidos na prova de conforto, a casa brasileira demonstrou que a qualidade do conforto interno da casa (por meio o uso do sistema de ar condicionado) é uma de suas melhores características (Figura 28).

Tabela 10 – Desempenho da Ekó House no Solar Decathlon.

Fonte: SDE (2012).

<b>PROVAS</b>	<b>Posição</b>	<b>Pontuação</b>
1-Arquitetura	12	60,00
2- Engenharia e construção	14	54,00
3 - Eficiência energética	10	68,00
4 - Balanço energia elétrica	15	70,91
5 - Conforto	5	99,32
6 - Funcionamento da casa	16	85,86
7 - Comunicação e consciência social	5	62,20
8 - Industrialização e viabilidade de mercado	12	49,80
9 - Inovação	15	27,10
10 - Sustentabilidade	3	91,80
Bonus- Penalizações	12	2,00
<b>Pontuação Total</b>	<b>14</b>	<b>670,99</b>

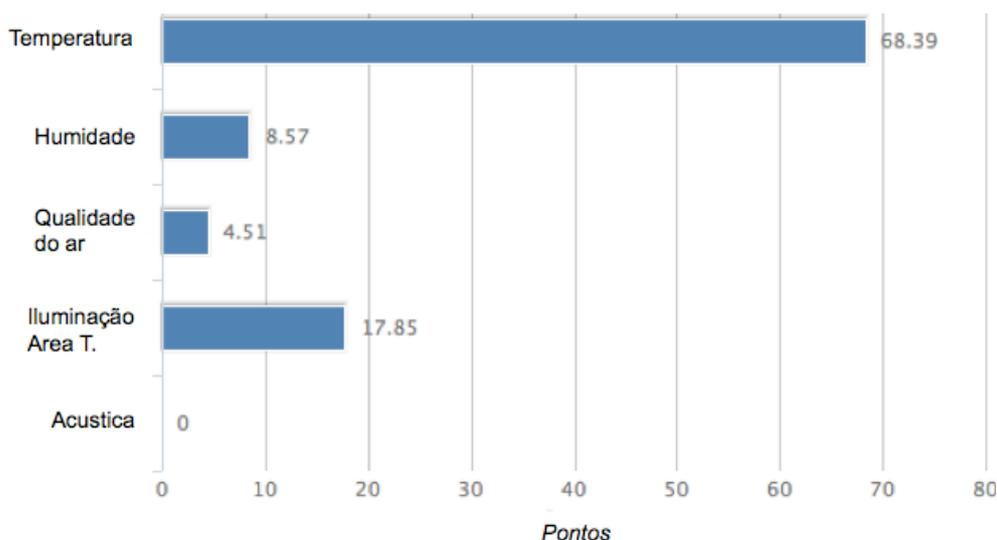
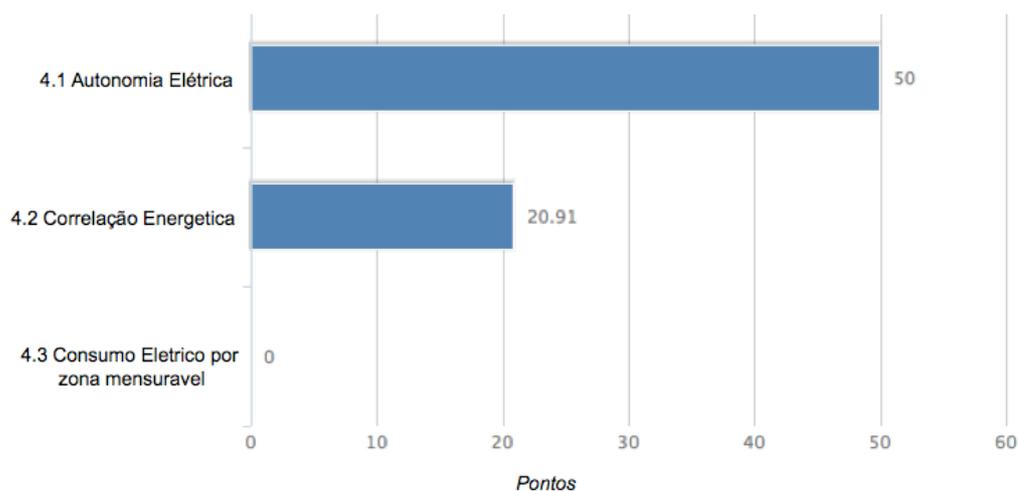


Figura 28 – Pontuação da Prova de Conforto

Fonte: SDE (2012).

Em contrapartida ao bom desempenho na prova de conforto, a *Ekó House* não conseguiu um bom desempenho no balanço energético da casa. Com uma pontuação de 70,91, classificou-se em 15º lugar. Conforme o gráfico da Figura 29, dos 60 pontos a que a casa concorreu, obteve 50 na parte de autonomia elétrica, ocasionados pela perda de pontos no primeiro dia da competição. Na parte de correlação elétrica, a *Ekó House* pontuou na metade dos pontos totais, enquanto na prova de consumo elétrico por zona mensurável, não pontuou.



**Figura 29 – Pontuação da Prova de Balanço energético.**

Fonte: *SDE* (2012).

De forma geral, o comportamento da casa em termos de eficiência energética e conforto interno foi discreto, obtendo 167 pontos dos 240 pontos totais. Na parte relativa ao projeto arquitetônico e de engenharia, a *Ekó House* não obteve um resultado satisfatório (em parte, pela falta de inovações tecnológicas, conforme demonstra o 16º lugar na prova de inovação).

O 14º lugar final pode ser considerado um resultado bom, já que foi a primeira vez que o Brasil participou na competição e porque foi o único país do outro hemisfério a participar. Esse resultado deve ser visto, futuramente, como um ponto de partida para uma nova participação.

## 2.4 NORMAS BRASILEIRAS SOBRE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Nos últimos 20 anos, a normativa brasileira em matéria de edifícios residenciais mais eficientes mudou radicalmente. Do regulamento de eficiência energética nas edificações residenciais (RTQ-R) às normas de avaliação de desempenho térmico (ABNT NBR 15220-NBR 15575) e às normas para instalação de tecnologias solares (ABNT NBR 15569), essa evolução normativa teve como objetivo incentivar edifícios mais eficientes.

### 2.4.1 Regulamento de eficiência energética nas edificações residenciais (RTQ-R)

Os primeiros regulamentos sobre o desempenho de edificações

foram criados na Europa, no início dos anos 1970, e definiam parâmetros para o envelope construtivo das edificações, no intuito de diminuir a transferência de calor por meio dos seus componentes construtivos. Como continuação desses regulamentos, foram instituídas melhorias na prática de projeto visando ao controle térmico da edificação (PEREZ, 2009).

No começo dos anos 1990, a concepção da avaliação do desempenho de edificações mudou, tendo como foco a diminuição do consumo energético das edificações e da emissão de gases causadores do efeito estufa. Estados Unidos, Canadá, México, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Japão, Coréia, Rússia, Inglaterra e Filipinas são só alguns dos países que possuem normas ou leis de eficiência energética em edificações que seguem esta nova concepção da regulamentação de edificações (CARLO; LAMBERTS, 2008).

No Brasil, o primeiro regulamento de eficiência energética nas edificações foi publicado em 2009, tendo como foco a regulamentação das edificações comerciais (RTQ-C). Um ano depois, em novembro de 2010, foi publicado, na sua primeira versão, o Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2009; INMETRO, 2010). O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e o método de classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais para obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (INMETRO, 2012).



**Figura 30 – ENCE: etiqueta de edificação unifamiliar autônoma.**

Fonte: INMETRO (2012).

O RTQ-R avalia três diferentes tipologias de edificações: Unidades Habitacionais Autônomas (UHs), que consistem em edificações residenciais unifamiliares (casas) e unidades autônomas de edificações multifamiliares (apartamentos); edificações multifamiliares e áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios residenciais (FOSSATI *et al.*, 2010).

Nas UHs, são avaliados dois sistemas: envoltória e aquecimento de água. Ambos têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

A envoltória, por sua vez, é avaliada em três diferentes partes:

- envoltória para verão, calculada por meio do indicador de graus-hora para resfriamento ( $GH_R$ ) de cada ambiente de permanência prolongada (para todas as zonas bioclimáticas);

- envoltória para inverno, calculada por meio do consumo relativo anual ( $kWh/m^2$  por ano) para aquecimento ( $C_A$ ) de cada ambiente de permanência prolongada (da zona bioclimática de 1 a 4);

- envoltória para refrigeração, calculada por meio do consumo relativo anual ( $kWh/m^2$  por ano) para refrigeração ( $C_R$ ) de cada dormitório (excluindo dormitórios de serviço) e para todas as zonas bioclimáticas). O desempenho da envoltória, quando refrigerada artificialmente, também é avaliado, porém não entra na classificação geral da UH. Essa eficiência é apresentada como informativo na etiqueta. À pontuação final, poderão ser somadas bonificações relacionadas a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação, desde que justificadas e comprovadas.

Para concluir, a determinação do nível de eficiência das UHs e das edificações multifamiliares pode ser realizada a partir de dois métodos: o método prescritivo e o método de simulação. O método prescritivo é composto por equações que limitam parâmetros da envoltória e do sistema de aquecimento de água. Para a envoltória, foram desenvolvidas equações para a determinação do indicador de graus-hora de resfriamento, do consumo relativo para aquecimento e do consumo relativo para refrigeração de cada zona bioclimática. As equações foram desenvolvidas a partir de equações de regressão múltipla, baseadas em mais de 150 mil casos simulados no *Energy Plus*, que representam mais de 3 mil horas de simulação computacional. No método de simulação, o desempenho da envoltória da edificação é determinado por meio de simulação computacional. Portanto, deve-se modelar a geometria da edificação sob avaliação e realizar simulações para duas condições: uma para a edificação, quando naturalmente

ventilada, e outra para a edificação, quando condicionada artificialmente, conforme requisitos descritos no RTQ-R (BRASIL, 2012).

Com o lançamento do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) no ano de 2010, numerosas pesquisas surgiram para avaliar edificações residenciais e, ao mesmo tempo, verificar a qualidade do regulamento. Assim, Marin e Amorin (2012) compararam a eficiência energética da envoltória por meio do método prescritivo do RTQ-R de duas edificações: um edifício vernacular e um edifício moderno. O resultado demonstrou como a casa moderna obteve um nível de eficiência energética da envoltória melhor que a casa vernacular.

Vários estudos de caso foram avaliados, desde casas no município de Parnamirim (LIMA *et al.*, 2012) a edifícios de grandes empreendimentos residenciais em Brasília (ANDRADE; AMORIM, 2011). Esses locais apresentaram resultados diferentes e, em geral, uma classificação final de eficiência energética de nível C ou D. Em outro estudo, realizado por Al-Alam Pouey *et al.* (2012), é avaliada a envoltória de uma habitação unifamiliar por meio do método prescritivo e de simulação do RTQ-R. O resultado evidencia como, por meio da avaliação feita pelo método de simulação, a envoltória da casa obteve o nível máximo de eficiência, enquanto que o método prescritivo da envoltória da casa alcançou o nível B. Isso demonstra como o método de simulação é uma aproximação mais realista das características do projeto, dando credibilidade à avaliação final.

#### **2.4.2 Normas em matéria de eficiência energética**

Além do Regulamento do RTQ-R, existem várias normas em matéria de eficiência energética nas edificações residenciais.

As Normas de Desempenho térmico, dessa forma, buscam aperfeiçoar a qualidade das moradias ao estabelecerem regras para avaliação do desempenho de edifícios habitacionais. Existem duas normas vigentes no Brasil em matéria de desempenho térmico em edifícios residenciais:

- NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações: destinada às habitações de interesse social;

- NBR 15575 – Norma de desempenho: destinada aos edifícios habitacionais de até cinco pavimentos.

A NBR 15220, de maio de 2005, visa a estimular o desenvolvimento tecnológico e gerir as avaliações de eficiências técnicas e econômicas das inovações tecnológicas advindas da habitação de interesse social. Essa norma, sob o título geral de “Desempenho térmico de edificações”, é dividida em 5 capítulos:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

É importante salientar que essa parte da NBR não tem caráter normativo, e, sendo assim, o conjunto de recomendações técnico-construtivas é encarado como guia na busca pela otimização do desempenho térmico das edificações.

A NBR 15575, de 19 de fevereiro de 2013, estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional de até cinco pavimentos e que podem ser avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos. A norma NBR 15575 é dividida em 6 capítulos.

- Parte 1: Requisitos gerais
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários

A NBR 15575 é um meio para melhorar a qualidade da construção de edifícios residenciais e, ao mesmo tempo, melhorar o conforto interno do usuário. Diferentemente da NBR 15220, as NBRs

15575-4 e 15575-5 estabelecem um procedimento normativo do desempenho térmico mínimo de edificações, obrigatório a partir de 19 de julho de 2013. Dessa data em diante, obras protocoladas nas prefeituras deverão atender a norma.

A Tabela 11, a seguir, apresenta as principais indicações projetuais das três normas que regulamentam a eficiência energética em edifícios residenciais. Percebe-se como as principais diferenças entre as normas estão nas indicações da área das aberturas.

**Tabela 11 – Comparação da Normas brasileiras de eficiência energética.**

Fonte: adaptado das NBR 15220 e 15575 e RTQ-R (2013).

Zona Bioclimática	NBR 15220			NBR 15575			RTQ-R			
	Parede Externas			Cobertura			Aberturas			
	U min	U min	U min	U min	U min	U min	A (%da área de piso)	A (%da área de piso) ventilação natural	A (%da área de piso) iluminação natural	
ZB 1	≤ 3,0	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,00	≤ 2,3	≤ 2,3	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB 2	≤ 3,0	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,00	≤ 2,3	≤ 2,3	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB3	≤ 3,60	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,00	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB4	≤ 2,20	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,00	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB5	≤ 3,60	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,00	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB6	≤ 2,20	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,00	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	15% < A < 25%	A ≥ 7%	A ≥ 8%	A ≥ 12,5%
ZB7	≤ 2,20	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,00	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	10% < A < 15%	A ≥ 7%	A ≥ 5%	A ≥ 12,5%
ZB8	≤ 3,60	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 3,7 α ≤ 0,6 ≤ 2,5 α > 0,6	≤ 2,30	≤ 2,3 ≤ 1,5	≤ 2,3 ≤ 1,5	A > 40%	A ≥ 12% região Norte A ≥ 8% Nordeste e Sudeste	A ≥ 10%	A ≥ 12,5%

Na pesquisa desenvolvida por LOURA *et al.* (2011), foram analisadas a Norma NBR 15575, de 2008, e o RTQ-R publicado em 2010. A partir da classificação de uma edificação multifamiliar, localizada na cidade do Rio de Janeiro, zona bioclimática 8, foi feita a comparação do método prescritivo do RTQ-R e do método normativo simplificado da NBR 15575:2008. Os resultados finais demonstraram que existe uma incongruência entre as duas normativas na avaliação das edificações. Assim, por exemplo, as duas normas especificam áreas mínimas de aberturas diferentes entre elas, resultando que a NBR 15575:2008 é mais restritiva do que a RTQ-R.

Dessa forma, as normas de sistemas solares para edifícios residenciais têm como objetivo diminuir o consumo energético por meio do uso de tecnologias limpas.

A NBR15569, de março de 2008, estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água (NBR 15569:2008). O

escopo da norma é dar indicações projetuais e de instalação para a melhor eficiência do sistema.

Em matéria de sistemas fotovoltaicos em edifícios residenciais, as normas brasileiras evoluíram nos últimos 25 anos. Começando com a NBR 10899, de janeiro de 1988, que tem como escopo definir os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante solar em energia elétrica, até chegar na resolução normativa ANEEL 482/2012, de abril de 2012, que incentiva a instalação de micro sistemas fotovoltaicos em edifícios residenciais. Essa última normativa revoluciona o uso do sistema fotovoltaico em edifícios residenciais no Brasil: o consumidor de energia residencial que tiver excedente de geração de energia de fonte própria, como energia solar, vai acumular créditos para obter descontos na conta de energia elétrica. Dessa forma, busca-se incentivar a instalação de sistema fotovoltaico em edifícios residenciais, reduzindo o consumo da rede elétrica.

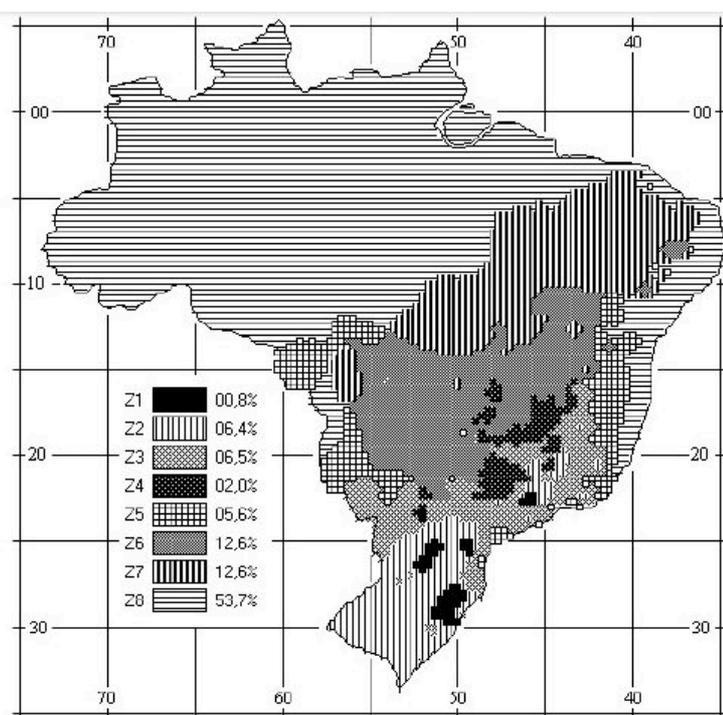
### **2.4.3 Zonas Bioclimáticas Brasileiras**

O Brasil possui uma área total de 8.514.876,599 km<sup>2</sup> e é o 5º país do mundo em extensão territorial. Com uma diferença de latitude de 39° entre o Norte e o Sul do país, o Brasil apresenta diferentes condições climáticas, o que gerou a divisão em 8 zonas bioclimáticas distintas entre si (NBR 15220-3). A maioria das cidades brasileiras estão localizadas na zona litoral, o que faz com que a altitude não tenha muita influência na divisão bioclimática. Na NBR 15220-3, encontra-se o zoneamento bioclimático brasileiro. Essas zonas são nomeadas de Z1 a Z8, sendo a Z1 a mais fria e a Z8 a mais quente. Na Figura 31, a seguir, observa-se que as zonas bioclimáticas podem abranger mais de um Estado em termos de divisão política, assim como dentro de um mesmo Estado pode existir mais de uma zona bioclimática. A divisão em zonas do território brasileiro baseou-se na homogeneidade quanto ao clima, ou seja, locais com clima semelhante.

Para isso, foram considerados três fatores principais: as médias mensais das temperaturas máximas, as médias mensais das temperaturas mínimas e as médias mensais da umidade relativa do ar.

O zoneamento e a classificação climática visam a dar recomendações construtivas para que as edificações tenham um melhor desempenho térmico, o que ocorre quando estão construídas de modo adequado para o clima local. Uma vez que uma edificação proporciona

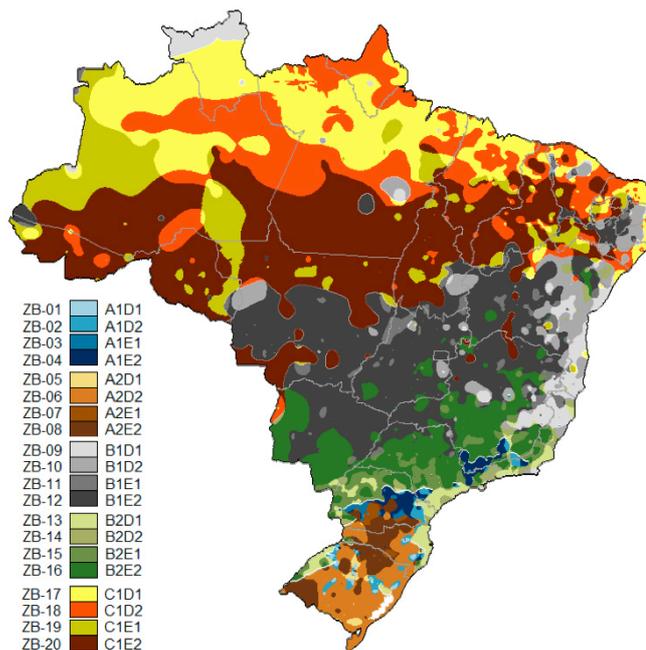
melhor conforto térmico em seu interior, utilizando o clima em seu favor, também proporciona economia de energia (eficiência energética) para o usuário da edificação e para a sociedade (Figura 31) (NBR 15220-3:2005).



**Figura 31– Mapa das Zonas Bioclimáticas do Brasil.**

Fonte: NBR 15220-3: 2005.

Nos últimos anos, surgiram vários debates sobre o zoneamento bioclimático brasileiro. Para um país com grande extensão territorial, a divisão em 8 zonas bioclimáticas resultou ser discordante com a não homogeneidade climática. Como exemplo, as cidades do Rio de Janeiro e Belém, com condições climáticas diferentes, em zonas territoriais distantes, estão situadas na mesma zona bioclimática (Z8). Como resposta, a partir dessa observação, segundo o estudo “Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro”, desenvolvido para Maurício Roriz, professor da Universidade Federal de São Carlos, está sendo revisado o zoneamento climático brasileiro. O objetivo é dividir o território brasileiro em zonas que reflitam da melhor maneira possível a diversidade climática do país com relação ao comportamento térmico e energético de edificações. Segundo os primeiros resultados obtidos, o território brasileiro será dividido em 20 zonas bioclimáticas (RORIZ, 2012) (Figura 32).



**Figura 32 – Proposta para o novo zoneamento bioclimático do Brasil.**

Fonte: RORIZ (2012).

## 2.5 BIOCLIMATOLOGIA

Um dos elementos base para desenvolver o projeto da casa *Ekó House* foi o estudo bioclimático de Madri. Por meio de uma aprofundada análise do clima da cidade da competição, foram estudadas diferentes estratégias, passivas e ativas, para se obter o melhor desempenho da casa na competição, seja do ponto de vista do conforto e/ou da eficiência energética. Com esse projeto, pode-se entender a importância dos estudos bioclimáticos na arquitetura e da utilização sempre maior dessa forma de projeção de edifícios, não somente residenciais, mas também nos outros setores da Construção Civil.

Como discutido anteriormente, este trabalho de pesquisa visa a reutilização do modelo da casa *Ekó House* no Brasil, com condições climáticas completamente diferentes das condições de Madri. Para que se consiga adaptar o projeto da casa nas diferentes cidade brasileiras escolhidas, será fundamental o uso da arquitetura bioclimática e dos instrumentos desenvolvidos nas últimas décadas.

A bioclimatologia pode ser descrita como a ciência que estuda as relações entre o clima (climatologia) e os seres vivos (bio), ou seja, a interação do ambiente, seus fatores e elementos climáticos, com as sensações dos seres vivos. Por meio da relação entre a bioclimatologia e

o meio edificado, surgiu a arquitetura bioclimática, que pode ser definida como aquela que, por meio da correta aplicação dos elementos arquitetônicos, visa a fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto ambiental com pequeno consumo energético (MACIEL, 2006).

Os pesquisadores irmãos Olgyay, nos anos 1960, criaram a expressão “projeto bioclimático”, por meio da aplicação da bioclimatologia no projeto arquitetônico, o qual, segundo eles, deveria ser desenvolvido objetivando dar respostas a requisitos climáticos específicos (OLGYAY,1964).

Depois das pesquisas realizadas pelos irmãos Olgyay (1963), outras surgiram nesse campo. Ao relacionarem os fenômenos físicos com as necessidades de controle climático de uma edificação, Watson e Labs (1983) elaboraram uma tabela onde se apresenta a relação sintética entre as estratégias de controle bioclimático para obtenção de conforto em condições de inverno e em condições de verão. Como mostra a Figura 33, essa ferramenta, desenvolvida nos anos 1980, descreve estratégias de projeto gerais, sem entrar de forma aprofundada no estudo do clima e no estudo das características do projeto em análise.

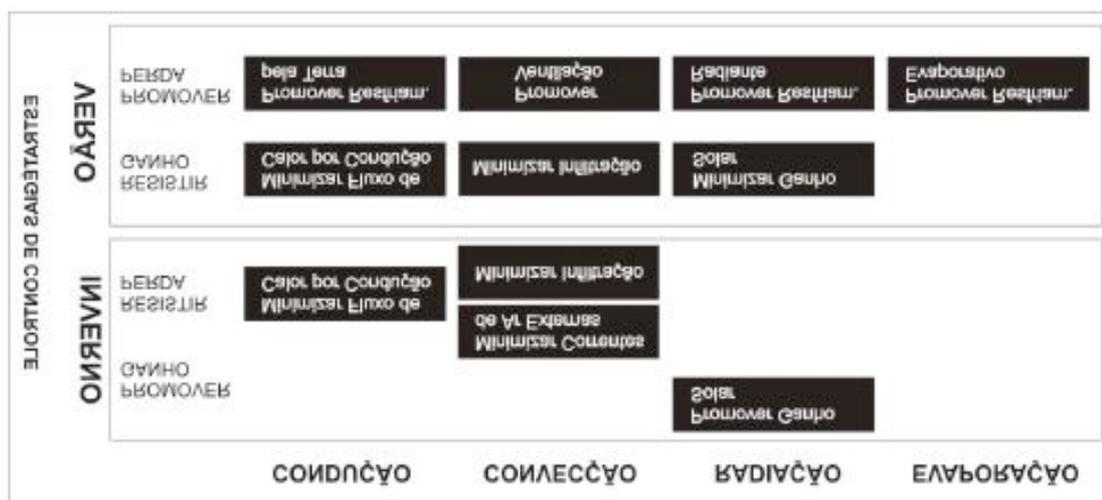


Figura 33 – Resumo e adaptação dos princípios e estratégias do projeto bioclimático.

Fonte: Watson e Labs (1983).

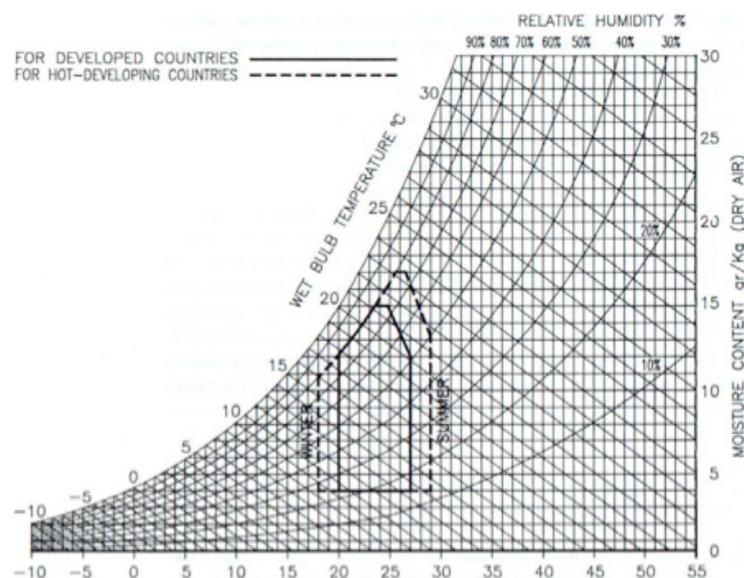
### 2.5.1 Métodos de Avaliação Bioclimática: Instrumentos Bioclimáticos

Existem diversos métodos de avaliação das condições bioclimáticas aos quais a edificação encontra-se submetida. Dentre eles,

destacam-se dois métodos principais: as cartas bioclimáticas e as tabelas bioclimáticas.

As cartas bioclimáticas são representações gráficas da relação entre clima e conforto ambiental. Tais métodos passaram a ser desenvolvidos visando a interligar de forma visual as variáveis como condições climáticas, padrões fisiológicos de conforto e estratégias de projeto. O primeiro pesquisador a relacionar de forma gráfica clima e conforto foi o cientista Olgyay, na metade dos anos 1950. Com essa tipologia de carta bioclimática, é possível estabelecer as estratégias nas diferentes condições climáticas para períodos de calor (ventilação, sombreamento e resfriamento evaporativo), e para períodos de frio (irradiação solar) (OLGYAY, 1963). Depois desse primeiro passo, muitas pesquisas sobre o tema geraram uma revisão da carta original de Olgyay.

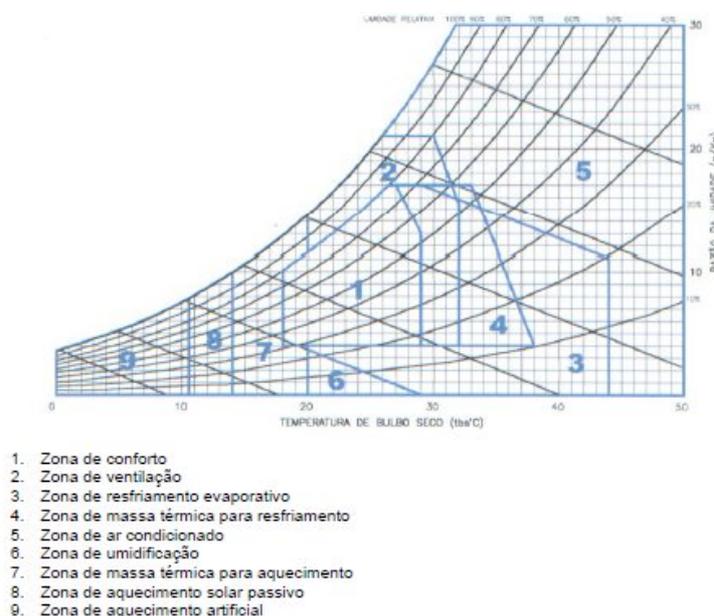
A carta bioclimática original de Givoni (1998), desenvolvida sobre uma carta psicrométrica convencional, foi considerada mais aperfeiçoada em relação aos modelos de Olgyay (1963). A carta de Givoni procura suprimir as limitações dos modelos de Olgyay por meio da adoção de estratégias relacionadas com a massa das edificações; já a carta de Givoni, busca avaliar as condições internas de conforto térmico, procurando ser mais inerte ao clima externo. Em 1992, Givoni apresentou dois modelos distintos de sua carta bioclimática, um para países desenvolvidos e outro para países em desenvolvimento (GIVONI, 1998) (Figura 34).



**Figura 34 – Carta de Givoni.**

Fonte: Givoni (1998).

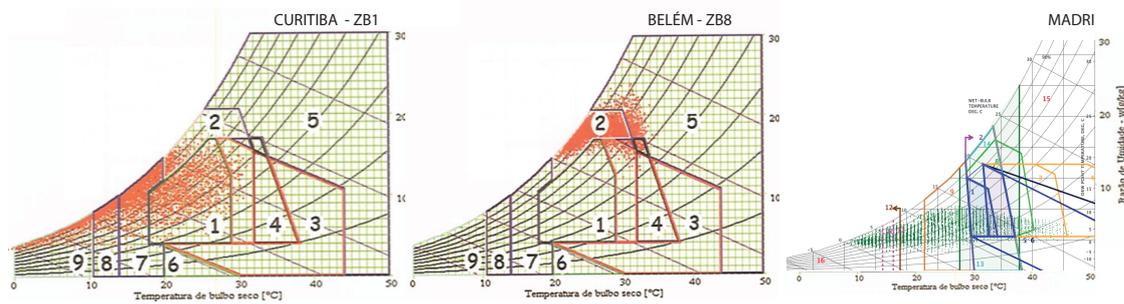
Com o passar dos anos, os recursos tecnológicos disponíveis na área da informática trouxeram um grande desenvolvimento para a análise dos dados bioclimáticos, permitindo a identificação das estratégias mais apropriadas por meio da plotagem dos dados climáticos nos horários de um ano sobre a carta bioclimática, obtendo, dessa forma, resultados mais imediatos (ANDRADE, 1996). Essa metodologia é apresentada na publicação *Eficiência Energética na Arquitetura* (LAMBERTS *et al.*, 2004), onde são apresentadas as cartas bioclimáticas para 14 cidades brasileiras e suas respectivas estratégias bioclimáticas (Figura 35).



**Figura 35 – Carta Bioclimática adotada para o Brasil.**

Fonte: LAMBERTS *et al.* (1997).

A Figura 36 mostra as cartas bioclimáticas de duas cidades Brasileiras com características climáticas opostas (Curitiba, ZB1, e Belém, ZB8) e da cidade da competição, Madri. Comparando as três cartas, pode-se entender como na cidade de Curitiba a necessidade principal é a de aquecimento, devido à quantidade de horas de desconforto com o frio; já na cidade de Belém, a estratégia mais importante é o uso de ventilação natural para as altas temperaturas e umidade constantemente acima de 50%; por fim, na cidade de Madri, onde as horas de conforto térmico são maiores, comparadas com as outras duas cidades, percebe-se como as horas de desconforto com frio provocam a necessidade de estratégias de aquecimento do ambiente interno.



**Figura 36 – Cartas bioclimática das cidades de Curitiba, Belém e Madri.**

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* e *Climate Consultant* (2013).

Além das cartas bioclimáticas, outro instrumento de avaliação são as tabelas bioclimáticas. O pesquisador Carl Mahoney (1969) desenvolveu esse método visando a orientar a concepção de edificações em climas tropicais. O método das tabelas de Mahoney consiste no lançamento dos dados climáticos de determinada localidade em tabelas. Por meio da interpretação dos dados, são fornecidas recomendações de concepção de projeto para edificações não climatizadas. O método de Mahoney refere-se muito mais a uma análise qualitativa do que quantitativa, não permitindo variações de escolha dentro de um mesmo tema, ou seja, na prática, oferece-se um único modelo de solução para cada perfil climático estudado, independente do uso da edificação.

Atualmente, existem programas interativos que analisam de forma completa as condições climáticas de uma determinada cidade onde se deseja desenvolver um projeto arquitetônico. Um exemplo é o programa *Climate Consultant*, que, por meio da análise do arquivo climático de uma cidade, permite que se visualizem estratégias bioclimáticas mais adequadas.

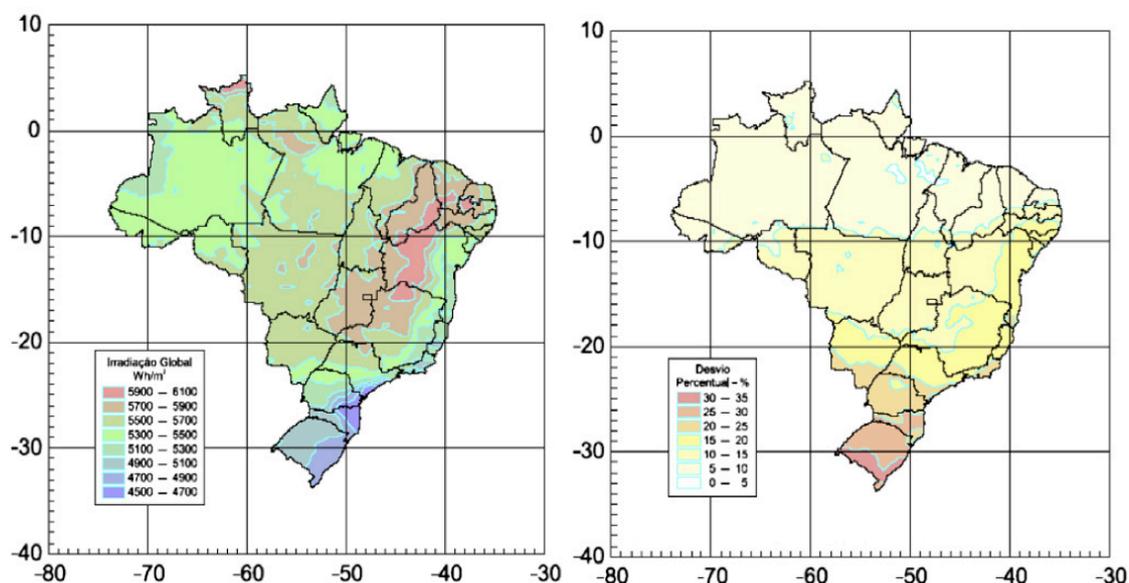
## 2.6 SISTEMAS SOLARES INTEGRADOS

Os edifícios modernos não podem mais negar a necessidade em buscar a eficiência energética, que pode ser alcançada de duas maneiras: diminuindo o consumo e produzindo sua própria energia. Uma das formas de produzir energia nos edifícios são os sistemas solares integrados, que podem ser:

- módulos fotovoltaicos, para a produção de energia elétrica; e
- coletores solares, para a produção de água quente.

No Brasil, o uso de módulos fotovoltaicos para a produção de energia elétrica ainda não é muito desenvolvido, em parte, pelos custos elevados e também pela falta de conhecimento da população. Levando em consideração que em países como Alemanha e Itália, onde a radiação solar é muito inferior à do Brasil, essas tecnologias são muito mais usadas, podendo-se prever esses sistemas de energia como o futuro das habitações brasileiras (TIAGO MATEUS *et al.*, 2008).

O Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) dedica-se há mais de uma década ao levantamento do potencial de radiação solar incidente sobre o território nacional. As figuras 37 e 38 mostram dois mapas contendo a média anual do total diário da radiação solar incidente no plano horizontal e a variabilidade anual do recurso solar em qualquer ponto do território nacional (RÜTHER, 2004).



**Figura 37 – Irradiações global incidente no plano horizontal.**

**Figura 38 – Variabilidade mensal de radiação global.**

Fonte: Rütther (2004).

Os mapas demonstram como a quantidade de radiação incidente no país não é uniforme, tendendo a uma maior variabilidade de radiação e, conseqüentemente, uma menor radiação no Sul do país. A região com maior radiação é a área central do Brasil. Mesmo assim, o potencial de uso das tecnologias solares no Brasil é muito grande e poderia gerar uma mudança nas suas fontes de energia.

### 2.6.1 Coletores solares

O princípio básico da utilização dos coletores solares é a transferência de calor por radiação e, em seguida, por condução. As placas que formam os coletores solares possuem um baixo índice de refletividade, de modo que toda a radiação solar transmitida na forma de calor aquece os tubos que, automaticamente, transmitem para o fluido interno por meio do fenômeno de aquecimento por condução.

Para aquecer água com energia solar, são utilizados coletores solares. O sistema de aquecimento geralmente possui mais de um coletor, dependendo do número de usuários na habitação. Os coletores solares enviam água quente para um reservatório térmico de cobre ou inox, ligado em paralelo por meio de tubos para condução de calor, geralmente o CPVC (copolímero vinílico). Existem diferentes tipologias de coletores solares em produção, sendo os planos os mais utilizados. Em geral, são constituídos por tubos e chapas absorvedores, de cobre ou alumínio, fechados por uma placa de vidro e isolados termicamente por lã de vidro. A água aquecida é retida em tanques metálicos, para futura utilização (Figura 39). Para obter um melhor desempenho dos coletores, ou seja, uma maior produção de água quente, os módulos devem ser colocados perpendiculares ao Norte (hemisfério Sul) e com uma inclinação  $10^\circ$  superior à latitude do lugar (RÜTHER *et al.*, 2010).

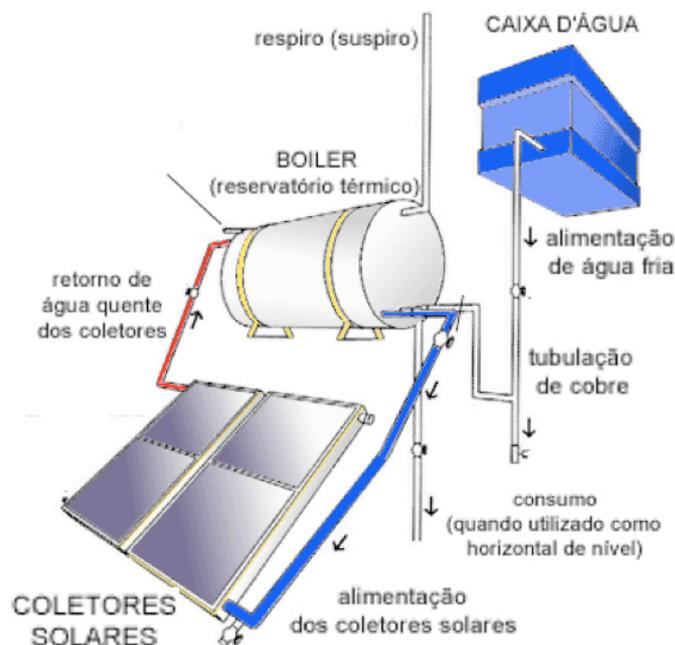


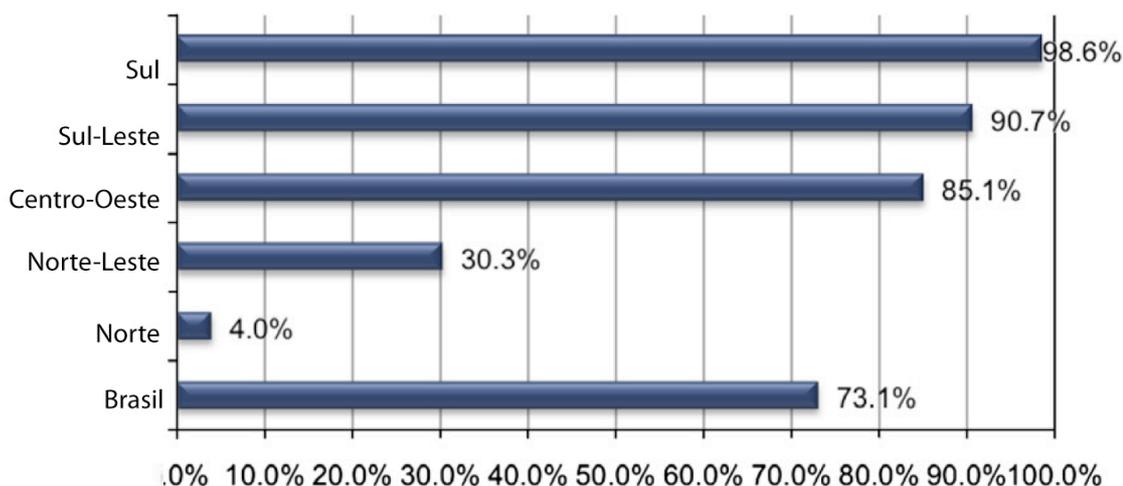
Figura 39 – Sistema coletor solar.

Fonte: Rütther *et al.*, (2010).

Uma das maiores causas do alto consumo residencial no Brasil é o chuveiro elétrico. A ELETROBRÁS/PROCEL realizou uma pesquisa no ano de 2005, com o objetivo de quantificar a tipologia da posse e obter a declaração da utilização de equipamentos elétricos, mediante aplicação, em campo, de questionário para coleta de informações. Esses dados foram compilados no relatório “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso” (PROCEL, 2007) e serviram de base para as seguintes conclusões:

- a) 80,9 % dos domicílios brasileiros aqueciam a água do banho;
- b) 73,1% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica;
- c) 5,9% utilizavam gás; e
- d) 0,4% usavam aquecimento solar.

Desse total, 73,1% que usam chuveiros para aquecimento da água estão, em sua maioria, localizados nas Regiões Sul, com 98,6%, e Sudeste, com 90,7%. A porcentagem das habitações localizadas na Região Norte é muito baixa, pois a maioria das habitações não usa sistema de aquecimento (Figura 40) (NESPOLI; MILITAO; RÜTHER, 2010).

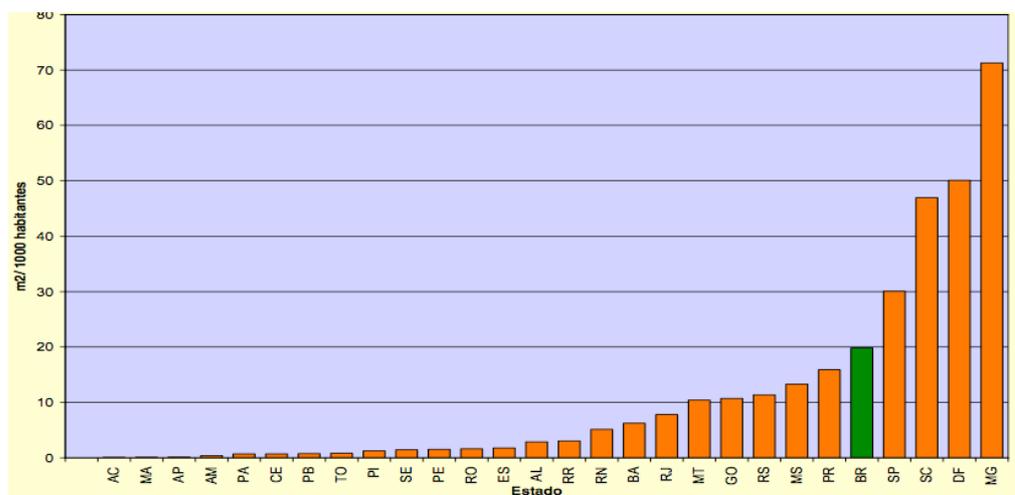


**Figura 40 – Porcentagem de chuveiros elétricos usados no Brasil**

Fonte: Naspolini, Militão e Rüter (2010).

De acordo com as projeções realizadas, com base nas informações do PROCEL (2005), a evolução do número absoluto de chuveiros em posse da população brasileira passará de aproximadamente de 39,7 milhões de chuveiros elétricos em 2001 para cerca de 69,7 milhões de unidades em funcionamento em 2030.

Uma possível solução para diminuir o consumo gerado com uso do chuveiro elétrico seria a instalação de coletores solares nas coberturas dos edifícios. Segundo dados fornecidos pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), o mercado brasileiro de sistemas de aquecimento solar de água está em expansão. No ano de 2009, por exemplo, esse mercado chegou à marca de 798 mil m<sup>2</sup> de novos coletores instalados e a uma área instalada total, no Brasil, de 5 milhões de m<sup>2</sup>. O crescimento anual registrado em 2009 foi de 18,9% em relação ao ano de 2008, um pouco acima do crescimento registrado entre 2007 e 2008, que ficou próximo de 17%. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2008, os números absolutos de área coletora instalada no Brasil eram de 4,5 milhões m<sup>2</sup> e conferiam ao Brasil o sétimo lugar entre os países com maior capacidade instalada de sistemas de aquecimento solar de água, com aproximadamente 3,4 GW. Analisando os dados de coletores instalados por Estado, observa-se que os Estados da Região Sul e Sudeste têm a maior quantidade de coletores instalados, devido a uma necessidade maior de aquecer água. Mesmo assim, os três Estados mais frios do país (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) não aparecem nas três primeiras posições por área de coletores solares instalados no Brasil (Figura 41) (ABRAVA, 2009).



**Figura 41 – Área de coletores solares por Estado.**

Fonte: ABRAVA (2009).

Na pesquisa desenvolvida para Napolini *et al.* (2010), foi avaliada a economia de energia obtida por meio de uso de coletores solares. O estudo de caso abordado é uma edificação residencial multifamiliar de baixa renda na cidade de Florianópolis. Em cada apartamento, de dois quartos cada, foi considerada a presença de três habitantes. Para avaliar a economia gerada com o uso de um coletor solar para cada apartamento, foi comparado com o consumo de um coletor solar com um chuveiro elétrico cuja potência é de 6800 W. Os resultados finais demonstraram que, para cada apartamento, a economia de energia por meio do uso de um coletor não chega a ser de apenas 200 kWh por ano, pois foi considerada a presença de somente um coletor solar para o uso de três moradores. Por outro lado, o sistema de aquecimento solar de água pode gerar benefícios muito maiores para a empresa concessionária, reduzindo a demanda de energia no horário de pico. Portanto, o uso de coletores solares pode trazer benefícios para ambas as partes e, por isso, o seu uso deveria ser mais estimulado pelo setor de energia.

O *Solar Decathlon*, embora seja uma competição “Solar”, não dá muita importância ao uso de sistemas de aquecimento de água por meio da energia solar, privilegiando o uso de energia solar para produzir energia elétrica (módulos fotovoltaicos). Para um país como o Brasil, onde o custo da energia elétrica é relativamente baixo e limpo e o consumo nas edificações residenciais é causado principalmente pelo uso do chuveiro elétrico, as regras da competição não condizem com a realidade brasileira.

### **2.6.2 Módulos fotovoltaicos**

Por meio do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. Diariamente, incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do sol do que o consumo total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Entre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade por meio do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais eficientes formas de gerar potência elétrica (RÜTHER, 2004).

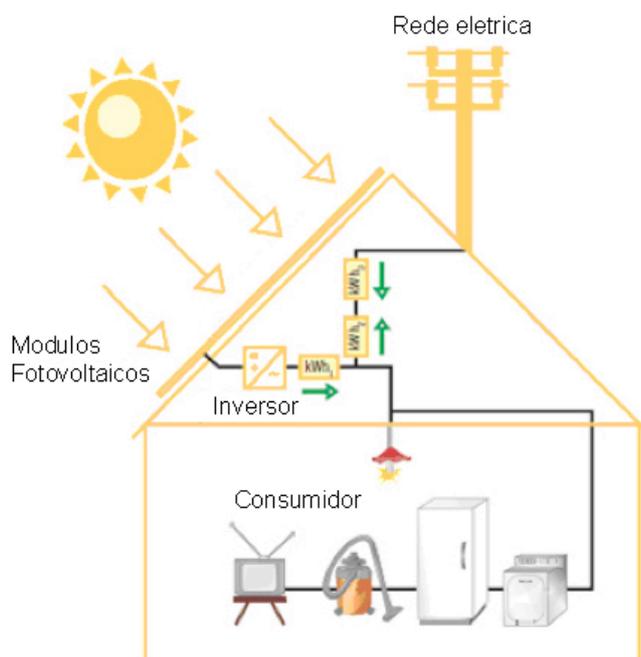
No curso dos últimos 20 anos, o desenvolvimento das tecnologias nesse setor cresceu muito e rapidamente; de 2010 a 2012, a potência instalada cresceu 30%. Isso permitiu não só uma grande variedade de

módulos por potência material e por dimensões, mas também uma geral redução dos preços e uma melhor eficiência. Alemanha, Itália, China e Estados Unidos, cabe lembrar, são os países que mais aumentaram a própria produção de energia limpa por meio do uso da energia solar (IEA, 2011).

Para obter o melhor desempenho de um sistema fotovoltaico, como regra geral, a inclinação ideal, com relação à horizontal, para incidência solar máxima em regime anual, é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (Norte geográfico para instalações no hemisfério Sul e Sul geográfico para instalações no hemisfério Norte). Van Der Borg e Wiggelinkhuizen (2001) realizaram uma extensa análise dos efeitos da orientação de sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, quantificando as perdas energéticas decorrentes de orientações e inclinações não ideais. A inclinação e a orientação exatas não são, no entanto, críticas, ao contrário de uma percepção frequente de que módulos solares somente podem ser instalados em estruturas voltadas para o Norte (Sul no hemisfério Norte), de preferência móveis, para pode seguir o sol, e de que se assemelham mais a um satélite do que a um edifício. O sombreamento é uma questão problemática. Um gerador fotovoltaico apresenta excelente *performance* quando iluminado homoganeamente. Da mesma forma, se uma parte do painel permanecer sombreada, isso pode comprometer a produção de energia do painel inteiro. O estudo preliminar dos elementos de sombreamento no sítio de projeto de um sistema fotovoltaico, portanto, é fundamental para o correto funcionamento das placas (RÜTHER, 2011).

Um sistema fotovoltaico compõe-se principalmente de três elementos: os módulos fotovoltaicos, o inversor e, no caso de não conexão na rede, um banco de baterias (Figura 42).

Para a grande maioria da população brasileira, energia solar é sinônimo de aquecimento de água. Ainda é pouco conhecida a possibilidade de se obter eletricidade a partir do sol e muito menos o significado do termo “fotovoltaica”.



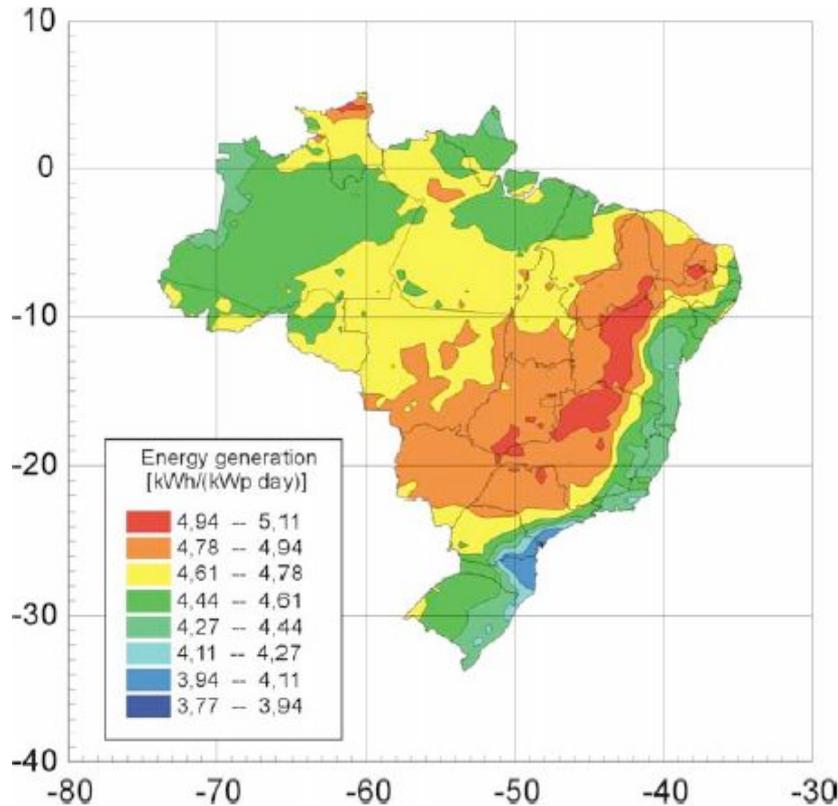
**Figura 42 – Sistema fotovoltaico.**

Fonte: Rüter (2011).

Segundo o Atlas de Irradiação Solar no Brasil, diariamente, incidem entre 4500 Wh/m<sup>2</sup> a 6300 Wh/m<sup>2</sup> no país. Como base de comparação, o lugar mais ensolarado da Alemanha recebe 40% menos radiação solar do que o lugar menos ensolarado do Brasil. A Alemanha, com 27 GW de potência instalada, é o primeiro país no mundo a usar a tecnologia fotovoltaica (RÜTHER, 2011). Isso foi possível por meio das políticas de incentivos à instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios privados e públicos e também por grandes sistemas fotovoltaicos; o programa de incentivos prevê que o proprietário do sistema fotovoltaico que manda na rede energia a mais, receba em dinheiro a energia alimentada na rede.

Rüter (2004) afirma que o potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total de energia elétrica do país. Para exemplificar esse potencial, a comparação com a usina hidrelétrica de Itaipu, que contribui com aproximadamente 25% da energia elétrica consumida no país, é bastante ilustrativa. Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos, seria possível gerar o dobro da energia gerada por essa usina, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil.

A demonstração do grande potencial de energia solar fotovoltaica no país é o mapa do potencial de energia fotovoltaica gerada anualmente (kWh) no território nacional (Figura 43) (RÜTHER, 2004).



**Figura 43 – Mapa da energia solar diária gerada no Brasil.**

Fonte: ATLAS (2004).

A mapa mostra como as regiões centrais do Brasil apresentam uma geração maior em todo o país. As Regiões do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, são as regiões com geração de energia inferior. Porém, ainda assim, o potencial dessa fonte de energia é muito grande.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou no dia 17 de abril uma nova resolução normativa (482/2012) para facilitar a conexão à rede de distribuição de mini e microusinas de geração elétrica a partir de fontes renováveis. Além de estabelecer os procedimentos gerais para a conexão à rede de mini e microgeradores, a resolução propõe a criação de um sistema de compensação de energia, conhecido internacionalmente como *net metering*. Com ele, o proprietário de uma pequena usina não precisa consumir toda a energia produzida no momento da geração, uma vez que ela poderá ser injetada na rede e, nos

meses seguintes, o consumidor receberá créditos em kWh na conta de luz referentes a essa eletricidade gerada, mas não consumida. Com essa resolução, estima-se que a instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios residenciais aumentará notavelmente, diminuindo o consumo de energia nos edifícios residenciais, tornando-os autossuficientes energeticamente ou, ao menos, diminuindo o impacto do consumo na rede elétrica.

O *Solar Decathlon* aponta principalmente para a utilização de sistemas fotovoltaicos na produção de energia elétrica, a fim de satisfazer o consumo dos moradores. Esse incentivo para a instalação de sistemas fotovoltaicos nas edificações é também devido ao grande desenvolvimento das tecnologias usadas e à grande redução dos custos. Esses fatores podem contribuir para o desenvolvimento do setor também no Brasil, criando uma alternativa energética ilimitada.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referencial bibliográfico demonstrou como a procura de edifícios residenciais cada vez mais eficientes não pode ser vista somente como uma tendência arquitetônica passageira. O aumento do consumo energético dos edifícios residenciais será uma constante para os próximos anos no Brasil. O forte desenvolvimento do país, aliado com o maior poder de compras das famílias brasileiras, trará qualidade de vida melhor, que, em termos energéticos, traduz-se em um aumento do consumo. A solução para reverter esse quadro é a projeção de edificações mais eficientes, que podem ser alcançadas de duas maneiras: diminuindo o consumo e produzindo sua própria energia.

A *Ekó House* representa, nesse sentido, a síntese dessas duas soluções, mas projetada para uma cidade com condições climáticas diferentes da realidade brasileira. Esta pesquisa pretende analisar a eficiência energética da casa *Ekó House* e eventualmente propor alterações de projeto úteis para incrementar a eficiência energética de residências no Brasil.



### 3 METODOLOGIA

A casa *Ekó House* foi desenvolvida para ser o primeiro modelo de casa solar brasileira participante da competição *Solar Decathlon*. O escopo desta pesquisa é avaliar a eficiência energética desse edifício nas diferentes zonas bioclimáticas e nas principais cidades brasileiras por meio de três metodologias: o balanço energético anual, o método prescritivo do RTQ-R e o método de simulação do RTQ-R. A partir dessas metodologias, serão obtidos modelos diversificados nas diferentes áreas climáticas brasileiras. Em virtude da natureza da pesquisa proposta no presente trabalho, a mesma foi realizada por meio de uma pesquisa exploratória de abordagem quantitativa. Por meio da análise comparativa entre a eficiência energética da casa nas diferentes zonas climáticas do Brasil, será possível alterar o projeto da *Ekó House* e propor novas soluções mais apropriadas para o edifício.

Assim, a pesquisa, que se compõe de três diferentes métodos de avaliação, contará com setes etapas inter-relacionadas:

a) Levantamento das características da casa, dos materiais e das tecnologias utilizadas.

b) Análise e escolha das cidades brasileiras onde a *Ekó House* será avaliada, nas três diferentes metodologias.

c) Criação de um modelo geométrico da *Ekó House* por meio do programa *Energy Plus*.

d) Análise da *Ekó House* por meio das três metodologias: balanço energético, método prescritivo do RTQ-R e método de simulação do RTQ-R. Nessa primeira fase, a casa foi simulada mantendo o projeto inalterado.

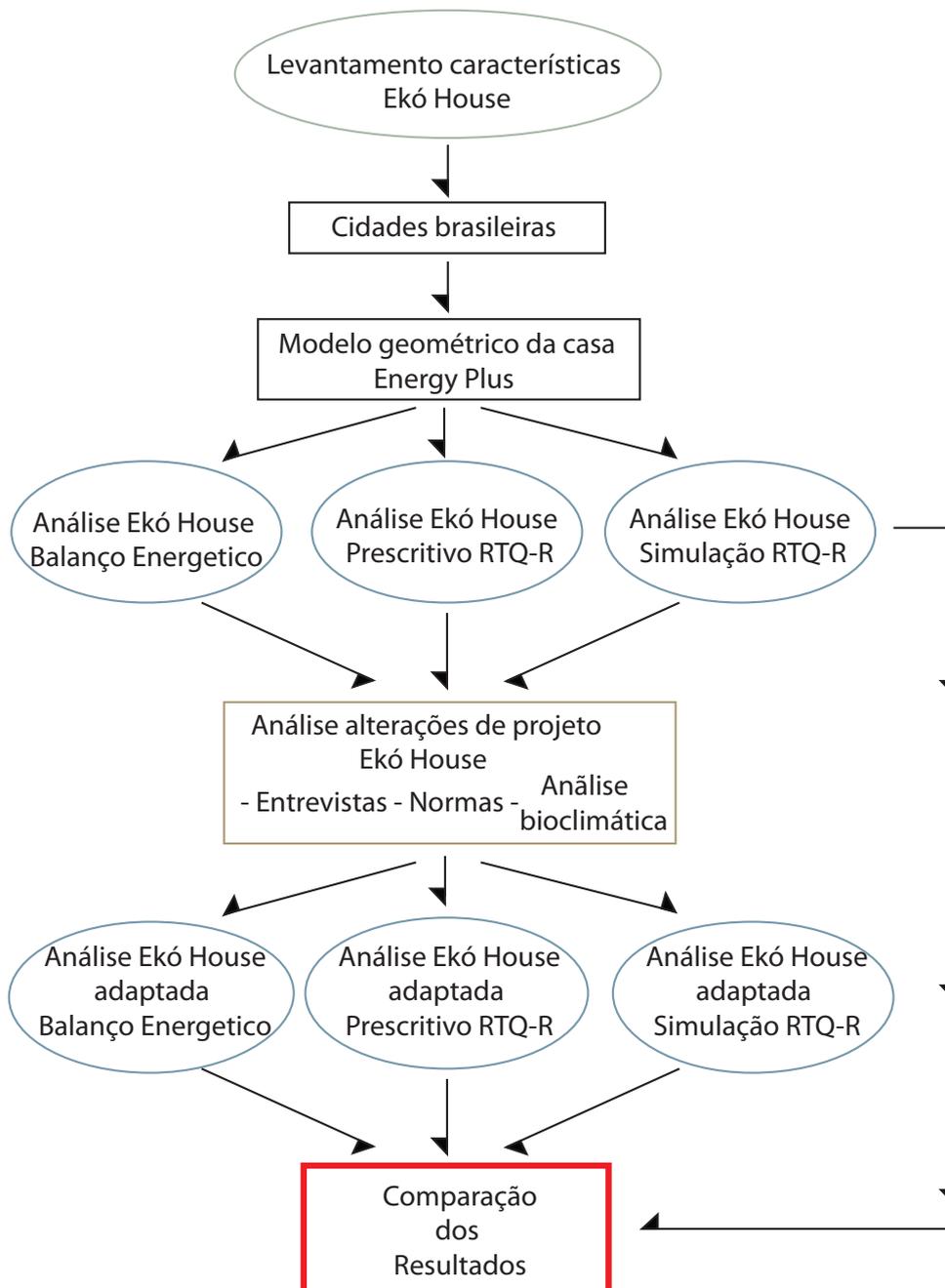
e) Adaptação do modelo inicial da casa, nas diferentes cidades escolhidas, por meio das entrevistas abertas aos membros da equipe, das normas brasileiras e da análise bioclimática.

f) Análise da *Ekó House*, com as alterações de projeto, por meio das três metodologias: balanço energético, método prescritivo do RTQ-R e método de simulação do RTQ-R.

g) Comparação dos resultados da casa, obtidos com as três metodologias, antes e depois das mudanças projetuais.

O objetivo é dar um modelo mais eficiente e energeticamente

possível nas diferentes zonas bioclimáticas e nas diferentes cidades escolhidas. O esquema de Figura 44, a seguir, resume a metodologia, anteriormente descrita, utilizada para desenvolver a presente pesquisa.



**Figura 44 – Esquema da metodologia desenvolvida.**

### 3.1 LEVANTAMENTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA *EKÓ HOUSE*

De acordo com o que foi exposto na revisão bibliográfica, no capítulo 2.3., foram levantadas as características físicas e técnicas da casa *Ekó House*. O levantamento detalhado traz informações sobre:

- a) área interna, área das aberturas nas 4 orientações e dimensões dos elementos de sombreamento (Tabela 5);
- b) características térmicas da envoltória da casa (Tabela 5);
- c) características do sistema de condicionamento de ar (Tabela 6);
- d) sistema de iluminação interno e externo da casa (Tabela 7);
- e) equipamentos – foram listados os diferentes tipos de equipamentos encontrados na edificação (Tabela 7);
- f) sistema fotovoltaico instalado no telhado da casa (seção 2.3.3.);
- e
- g) sistema de aquecimento da água com coletores solares (seção 2.3.3.);

O levantamentos dos dados da *Ekó House* é uma etapa importante a fim de se poder avaliar a casa por meio das três diferentes metodologias, assim como para criar o modelo simplificado destinado às simulações no Programa *Energy Plus*.

### 3.2 ANÁLISE E ESCOLHA DAS CIDADES BRASILEIRAS

Uma vez realizado o levantamento dos dados da casa *Ekó House*, o passo seguinte foi definir as cidades brasileiras onde será avaliada a casa por meio das três metodologias de análise. Para cada método de avaliação, a escolha das cidades foi feita de forma diferente.

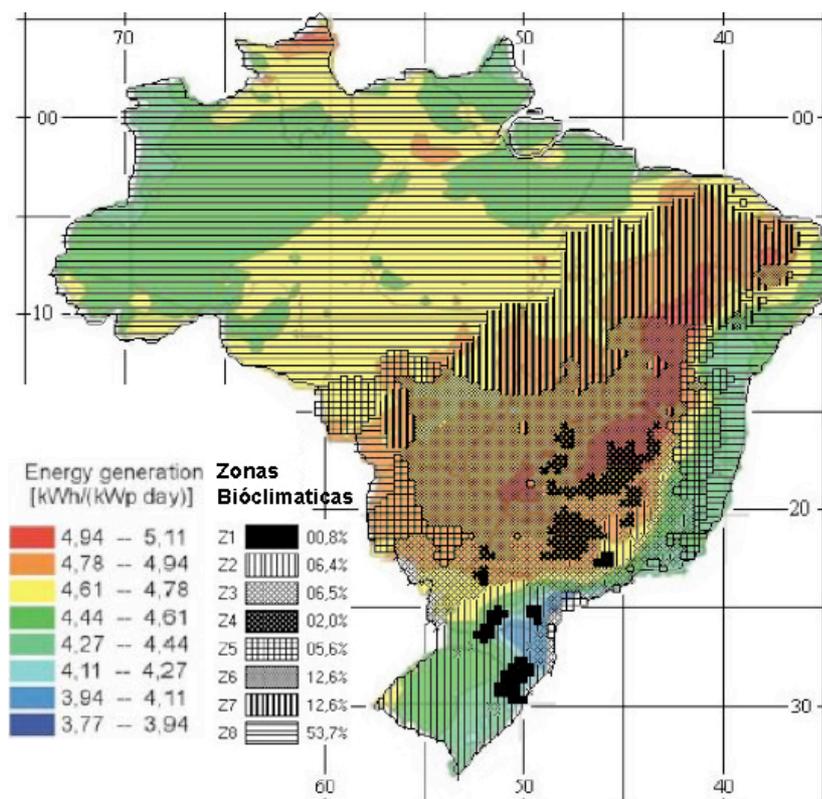
#### 3.2.1 Cidades escolhidas para o método do Balanço Energético

Nesta metodologia de avaliação da casa, a *Ekó House* foi analisada primeiramente na cidade de Madri e depois nas cidades brasileiras. A escolha dessas cidades foi feita por meio de três parâmetros relacionados entre si:

- zonas bioclimáticas brasileiras (NBR15220-3);

- geração de energia solar no Brasil (ATLAS, 2004);
- cidades mais populosas (IBGE, 2012).

Os primeiros dois parâmetros foram adotados devido à não uniformidade dos dois mapas, sendo o mapa do zoneamento bioclimático muito diferente do mapa de geração de energia solar no território brasileiro (Figura 45).



**Figura 45 – Sobreposição dos mapas de zonas bioclimáticas e energia solar diária gerada no Brasil.**

Fonte: NBR15220:2006 e Atlas (2004).

Por isso, a escolha das cidades brasileiras, também na mesma zona bioclimáticas, foi feita de forma tal que a radiação global fosse diferente entre elas, e que as cidades resultassem em ser geograficamente distantes, mesmo estando na mesma ZB. Feito isso, foram escolhidas as cidades mais populosas para aquela zona bioclimática.

Foi escolhido, também, um número diferente de cidades para cada zona bioclimática, baseado na sua proporção em relação ao território nacional, totalizando 20 cidades (Figura 46). Essas cidades

foram escolhidas entre as mais populosas (Tabela 12).

Tabela 12 – 20 Cidades escolhidas para o método do balanço energético.

Zona Bioclimática	Cidades	Radiação Global [kWh/dia]	População habitantes
ZB1	1- CURITIBA	4.11-4.27	1.764.540
ZB2	2- IBIRITE	4.61-4.78	162.867
	3- SANTA MARIA	4.44-4.61	262.368
ZB3	4-FLORIANOPOLIS	3.94-4.11	427.298
	5- SÃO PAULO	4.44-4.61	11.376.685
ZB4	6- BRASILIA	4.78-4.94	2.609.997
ZB5	7- GOVERNADOR V.	4.44-4.61	263.594
	8- NITERÓI	4.44-4.61	487.327
ZB6	9- CAMPO GRANDE	4.78-4.94	805.397
	10- GOIÂNIA	4.78-4.94	1.333.767
	11- MONTES CLAROS	4.94-5.11	361.971
ZB7	12- CUIABÁ	4.78-4.94	556.298
	13- PALMAS	4.61-4.78	242.07
	14- TERESINA	4.78-4.94	830.231
ZB8	15- BELEM	4.44-4.61	1.402.056
	16- FORTALEZA	4.61-4.78	2.447.409
	17- MANAUS	4.44-4.61	1.861.838
	18- PORTO VELHO	4.61-4.78	442.701
	19- RIO DE JANEIRO	4.44-4.61	6.323.037
	20- SALVADOR	4.44-4.61	2.710.968

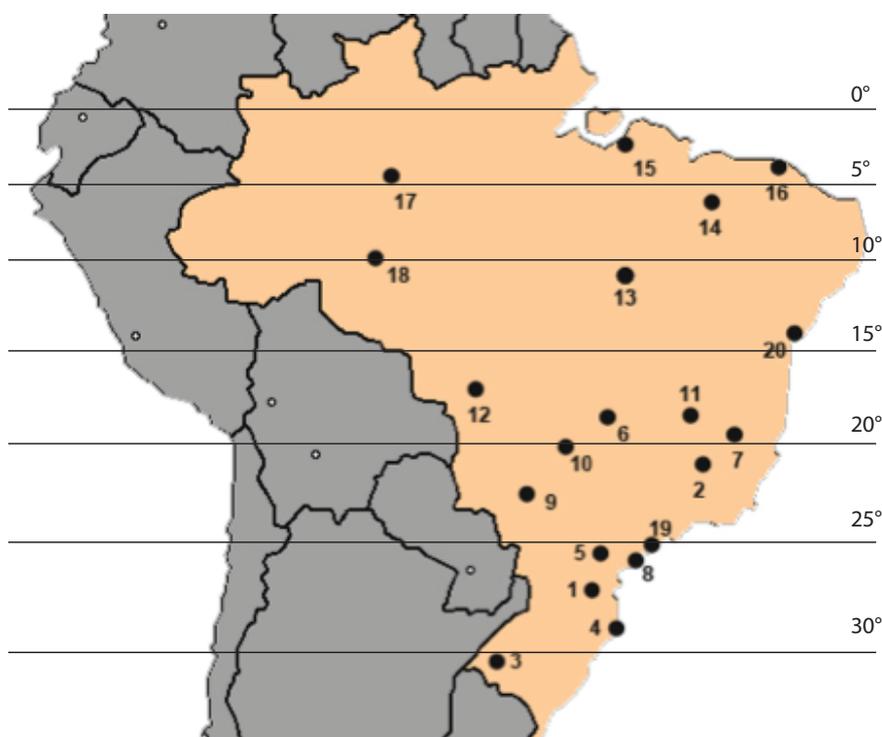


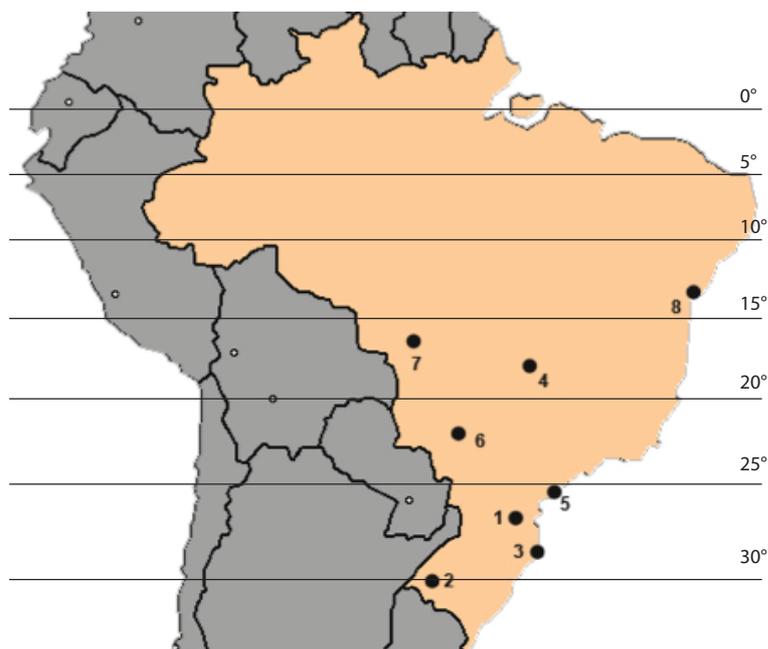
Figura 46 – Cidade escolhidas para avaliação da casa com o método do Balanço Energético.

### 3.2.2 Cidades escolhidas pelo método do RTQ-R

Para avaliação da casa por meio do método prescritivo do RTQ-R, foram escolhidas somente 8 cidades, uma para cada zona bioclimática. Isso porque a avaliação por meio do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais não faz distinção de uma cidade para outra dentro da mesma zona (Figura 47). Assim, as cidades escolhidas são:

- 1) Curitiba – ZB1.
- 2) Santa Maria – ZB2.
- 3) Florianópolis – ZB3.
- 4) Brasília – ZB4.
- 5) Niterói – ZB5.
- 6) Campo Grande – ZB6.
- 7) Cuiabá – ZB7.
- 8) Salvador – ZB8.

Essas cidades foram escolhidas porque foram as mesmas utilizadas a fim de se desenvolver as equações para estabelecer o nível de classificação.



**Figura 47 – Cidades escolhidas para avaliação da casa com o método prescritivo e de simulação do RTQ-R**

Para avaliação da casa por meio do método de simulação do RTQ-R, foram escolhidas as mesmas 8 cidades, avaliadas pelo método de simulação. Isso por dois motivos: o primeiro, porque dessa forma foram adotadas as mesmas cidades avaliadas pelo método prescritivo do RTQ-R; o segundo, porque as cidades escolhidas foram as cidades utilizadas para gerar as equações iniciais do RTQ-R. Sendo assim, a zona bioclimática 5 (Niterói) não será avaliada pelo método de simulação do RTQ-R porque, quando foram desenvolvidas as equações úteis para se gerar os equivalentes numéricos para a ZB5, não haviam arquivos climáticos de cidades daquela zona bioclimática. Por isso, os valores dos equivalentes numéricos da ZB5 são os mesmos da ZB8.

### 3.3 MODELO GEOMÉTRICO DA *EKÓ HOUSE*

O passo seguinte foi criar um modelo simplificado da casa *Ekó House*. A modelagem da edificação é a mesma tanto para o método de avaliação por meio do balanço energético, quanto para o método de simulação do RTQ-R. O modelo da casa e a avaliação por meio das simulações foi aplicado utilizando o programa *Energy Plus* na versão 7.0. O modelo geométrico da casa *Ekó House* foi criado como dois ambientes divididos (duas zonas térmicas).

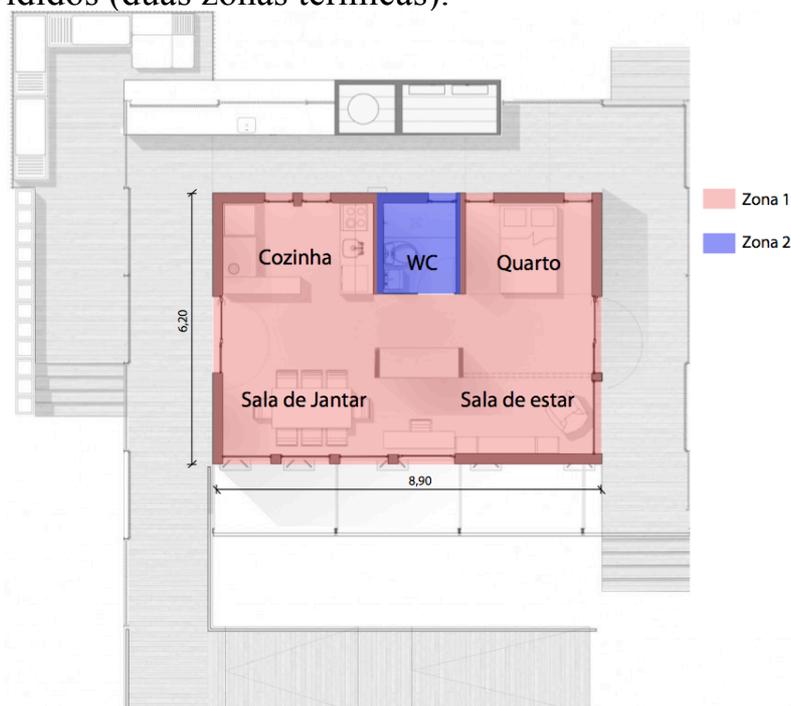


Figura 48 – Zonas térmicas do modelo *Ekó House* no *Energy Plus*.

Uma zona, como mostra a Figura 48, compreende a cozinha, a sala de estar, a sala de jantar, a área de trabalho, o quarto, existindo apenas um único grande ambiente e outra zona referente ao banheiro.

Foi desenhada a envoltória do edifício em todos os seus componentes (Figura 49):

a) os brises de bambu externos foram criados de maneira simplificada nas fachadas leste e oeste, por meio de elementos retangulares que incorporassem 4 brises de bambu a cada elemento;

b) o telhado foi considerado como um elemento solto, como um elemento de sombreamento, já que, realmente, o telhado onde são colocados os painéis fotovoltaicos e os coletores solares não entra em contato com a laje da casa;

c) a casa não está em contato com o terreno, sendo elevada a 60 cm do solo;

d) as paredes, o piso, o teto e a área envidraçada foram desenhados com as características térmicas e físicas, segundo a Tabela 5(Anexo 2 A); e

e) as persianas automatizadas na fachada sul da casa (Norte para o hemisfério Sul), que fecham automaticamente para manter a temperatura interna de conforto.

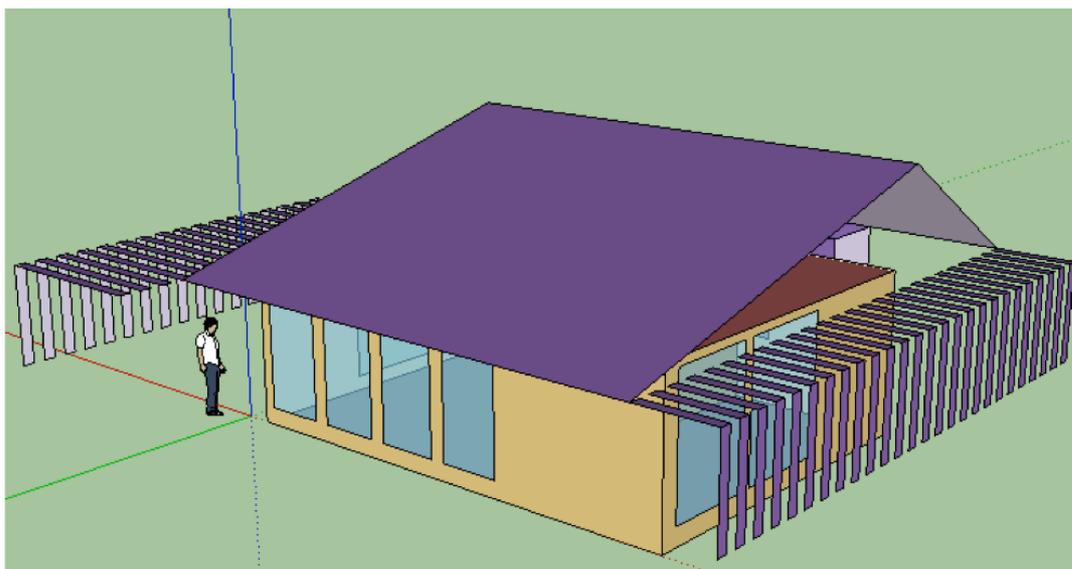


Figura 49 – Modelo geométrico simplificado da *Ekó House* no *Sketchup (Open Studio)*.

### 3.4 ANÁLISE DA EKÓ HOUSE POR MEIO DO BALANÇO ENERGÉTICO

Para avaliar a casa por meio do balanço energético, a casa será simulada com o programa *Energy Plus*. Para fazer isso, além da definição das cidades onde será avaliada a casa e do modelo geométrico simplificado, no programa de simulação, outros parâmetros foram estabelecidos para que fosse possível chegar aos resultados. Os parâmetros são:

- a) orientação e entorno da casa;
- b) temperatura de conforto interno;
- c) uso e ocupação da *Ekó House*;
- d) uso do equipamento interno; e
- e) sistemas solares.

#### 3.4.1 Orientação e entorno

A *Ekó House* será simulada na orientação da competição em Madri (fachada principal perpendicular ao Sul) e nas cidades brasileiras, sendo guiadas nas quatro diferentes orientações, como mostra a Figura 50. Dessa maneira, será possível avaliar melhor a eficiência energética da casa e, ao mesmo tempo, conseguir definir em qual orientação o edifício tem um comportamento melhor, em cada uma das cidade brasileiras avaliadas.



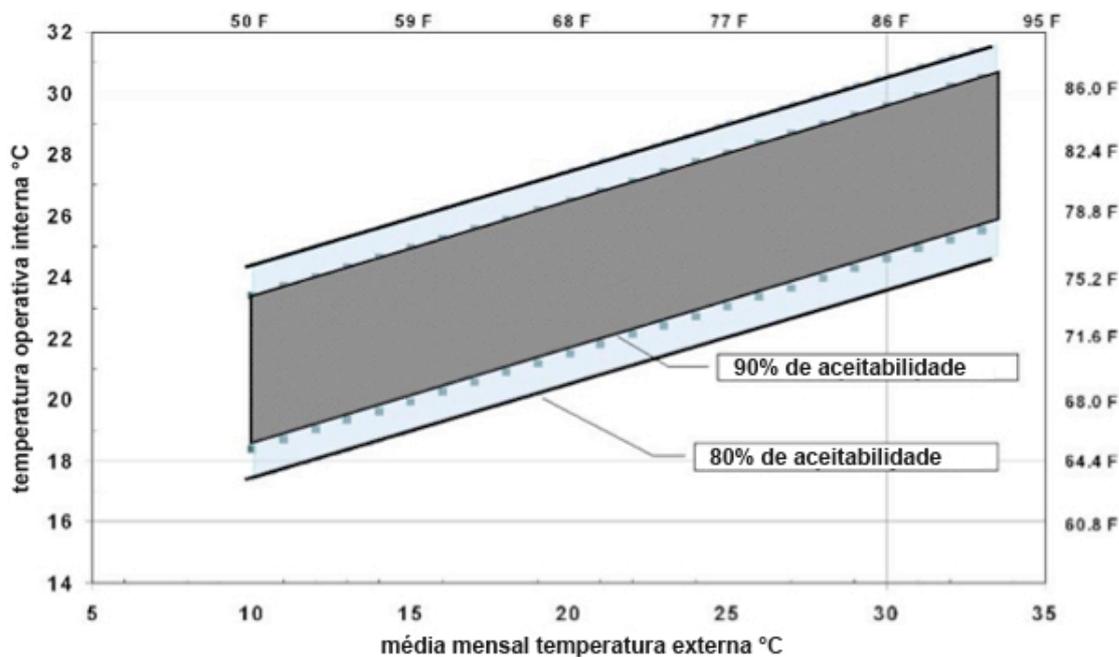
Figura 50 – Diferentes orientações da casa

É importante frisar que foi considerado um entorno que não apresenta interferência alguma no edifício que é objeto de estudo.

### 3.4.2 Temperatura de conforto interno

Outro parâmetro para obtenção dos resultados procurados nesta pesquisa é a temperatura de conforto interno que a casa deverá ter. Esse aspecto é fundamental, pois a partir da temperatura interna, prevê-se a utilização do condicionador de ar, determinando o consumo do mesmo.

Para cada cidade, foi usada uma temperatura de conforto diferente, de acordo com a norma *ASHRAE Standard 55-2010*, a qual esta estabelece um limite mínimo e máximo de conforto interno, dependendo da temperatura externa do lugar. Assim, a temperatura de conforto será avaliada em função da temperatura externa, como mostra a Figura 51, onde são apresentadas duas faixas de limites de temperatura: uma para 80% de aceitabilidade, e outra para 90% de aceitabilidade. O limite referente a 80% de aceitabilidade é utilizado para aplicações típicas, ou quando alguma informação não é disponibilizada. O limite de 90% deve ser utilizado quando um alto padrão de conforto é desejado. Nesse caso, foi utilizado o limite de 90% em todas as cidades avaliadas.



**Figura 51 – Temperatura de conforto interna**

Fonte: *ASHRAE* (2010).

É importante destacar que a temperatura de conforto interna devesse estar entre o limite mínimo e máximo durante a ocupação da casa dos moradores.

### 3.4.3 Uso e ocupação da *Ekó House*

Dadas as pequenas dimensões da casa, o uso da *Ekó House* foi pensado para 2 moradores adultos. Mesmo que no Brasil o número médio de pessoas por família seja de 3,1 (dados de 2010 do Instituto de Estatística Brasileira (IBGE)), ainda assim foi considerado mais ponderado simular o edifício somente com 2 pessoas. Foi criada, então, uma semana padrão de utilização da casa, que foi adotada para o ano todo. Os dois moradores, um casal, utilizaram a casa de tal maneira (Tabela 13).

Tabela 13 – Uso e ocupação da *Ekó House*.

	Semana	Final de Semana
Horario	Nº de pessoas	Nº de pessoas
1 hs- 8 hs	2	2
9 hs	1	0
10 hs-16 hs	0	0
17 hs- 18 hs	1	0
19 hs-24hs	2	2

Como Mostra a Tabela 14, dependendo da atividade desenvolvida no interior da casa, foram consideradas três tipologias diferentes de atividade, de acordo com a norma ISO 7730/2005.

Tabela 14 – Atividades desenvolvidas na casa.

Atividade	Taxas Metabólicas (W m <sup>-2</sup> )
Deitado, reclinado	46
Atividade sedentária	58
Atividade média em pé	116

Em todas as 20 cidades avaliadas, o uso da casa foi considerado o mesmo, seja por meio do tempo de permanência na *Ekó House* como das atividades desenvolvidas internamente.

### 3.4.4 Uso do equipamento interno

Uma vez definido o uso da casa por o casal, foram recriados os equipamentos e as luminárias, presentes na casa, no programa *Energy Plus*. Dessa forma, foi possível recriar e simular os consumos gerados da casa no curso de um ano inteiro. Para todas as cidades, os

equipamentos foram usados da mesma forma, os quais podem ser divididos em 3 grandes grupos:

- Eletrodomésticos: foram usados eletrodomésticos com baixo consumo energético (Tabela 15).

**Tabela 15 – Uso e potência dos eletrodomésticos.**

<b>Equipamento</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Tempo de uso por dia (h)</b>
TV	92	3
Sound bar	150	0,5
Laptop	95	2
Cooktop	1000	1,5
Hood	400	0,5
Oven	3500	0,5
Refrigerator	67	24
Dishwasher	1050	0,25
Blender	400	0,25
Clothes washer	1220	0,5
Clothes dryer	2000	0,5

- Luminárias: todas as lâmpadas usadas na casa são de *LED*, a fim de gerar um menor consumo de energia; as lâmpadas foram divididas em internas e externas (Tabela 16).

**Tabela 16 – Uso e potência da iluminação.**

<b>Iluminação</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Potência(W)</b>	<b>Tempo de uso por dia (h)</b>
Interna		277	
	<i>Cozinha</i>	48	1
	<i>Sala de Jantar</i>	45	1,5
	<i>Área de trabalho</i>	56	0,5
	<i>Sala de estar</i>	40,5	1
	<i>Quarto</i>	65	1
	<i>Banheiro</i>	22,5	0,5
Externa		140	3

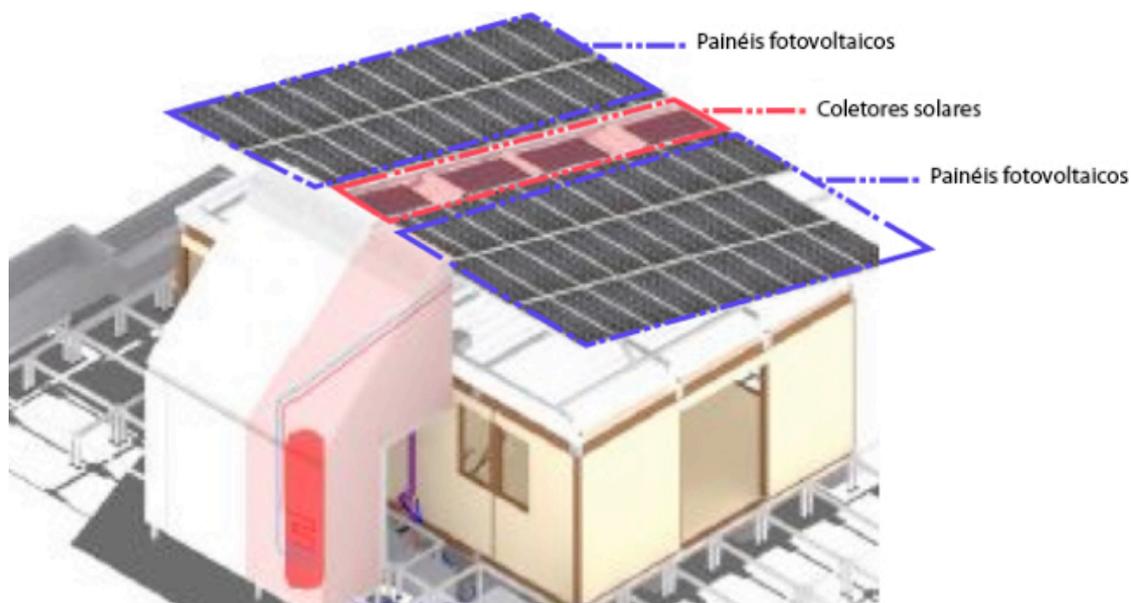
- Condicionador de bomba de ar de calor. O uso é diretamente ligado às condições de conforto interno da casa. No período de uso da casa pelos dois moradores, a temperatura interna deveria estar sempre entre a faixa de conforto, por meio, eventualmente, do uso do sistema de condicionamento de ar.

### 3.4.5 Sistemas solares

Para se obter o balanço energético da casa, foi necessário criar no programa de simulação *Energy Plus* os sistemas solares utilizados no edifício.

Os 48 painéis fotovoltaicos colocados no teto da *Ekó House* permitiram a autossuficiência energética da casa. O modelo dos módulos é o SPR 230 WHT, da *Sun Power Corporation*, sendo a inclinação dos módulos fotovoltaicos de 15°. A potência total instalada foi de 11,04 kWp para uma área de 66,65 m<sup>2</sup>. A eficiência dos módulos foi de 18,1%. O modelo dos dois inversores instalados é o *SUNNY MINI CENTRAL 5000<sup>a</sup>*, com uma eficiência equivalente a 96,1%. Todos esses parâmetros foram modelados por meio do “*photovoltaic performance simple*” no *Energy Plus*.

A demanda de água quente da casa é suprida por meio de quatro coletores solares colocados no teto da *Ekó House* em uma área de 5,44 m<sup>2</sup>. Os coletores são colocados na mesma estrutura dos módulos fotovoltaicos, com a mesma inclinação de 15°. O modelo dos coletores é o PU/205, os quais são formados por 10 tubos de 47 mm. O *boiler* térmico em aço inox possui uma capacidade total de 300 litros com uma transmitância de 0,025 W/m K (Figura 52).



**Figura 52 – Sistemas solares na casa *Ekó House***  
Fonte: *Project Manual Solar Decathlon Europe* (2012).

Para que fosse possível avaliar os coletores solares, foi estabelecido um consumo diário de 75 litros por pessoa, sendo que o RTQ-R indica como consumo mínimo por pessoa a marca de 50 litros. A água quente fornecida pelos coletores é utilizada como água sanitária e para os dois aquecedores radiantes instalados na casa, a fim de aquecer o edifício. A temperatura de utilização é de 45° C para todas as cidades, com exceção das cidades da Região Norte e Nordeste, onde a temperatura de utilização será de 40 °C (o RTQ-R recomenda a temperatura mínima de utilização entre a 40°C e 38°C para as Regiões Norte e Nordeste).

Para avaliar a economia de energia obtida por meio do uso de coletores solares, foi simulado também o uso de um chuveiro elétrico de 5500 W de potência a fim de identificar o consumo anual para aquecimento da água. Foi considerada, para todas as cidades da avaliação, como temperatura da água fria da rede 2 °C a menos da temperatura média mensal da cidade, como recomenda o RTQ-R.

Para uma avaliação mais real, foi colocado um termostato que considera só o consumo gerado para se alcançar a temperatura da água de utilização da temperatura da água da rede.

Uma vez modelado o projeto da *Ekó House*, utilizando a presente metodologia, foi possível simular o comportamento da casa em Madri e nas cidades brasileiras, por meio do Programa *Energy Plus*, a fim de encontrar os resultados do balanço energético da casa. Os arquivos climáticos usados, referentes às cidades avaliadas, estão no formato *TRY* ou *SWERA*.

### 3.5 ANÁLISE DA *EKÓ HOUSE* POR MEIO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R

Uma vez avaliada a casa por meio do método do balanço energético, pôde-se analisar a *Ekó House* por meio do método prescritivo do RTQ-R. As cidades avaliadas, como citado anteriormente, serão somente oito, uma para cada zona bioclimática. Foi feita, dessa forma, a avaliação da casa somente na orientação que obteve o melhor desempenho no método do balanço energético.

A avaliação se estrutura em três partes principais:

- a) Envoltória
- b) Aquecimento de água
- c) Bonificações e etiqueta final,

#### 3.5.1 Envoltória

Na avaliação da envoltória, será analisada a casa por meio dos dados levantados no primeiro capítulo da metodologia. Para efetuar a avaliação da envoltória, foi usada a planilha disponível na Figura 53, desenvolvida pelo LabEEE (<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads/planilhas-e-catalogos>).

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	
	azimute	graus	
Ambiente	Identificação		
	AUamb	m <sup>2</sup>	
Cobertura	UCob	W/m <sup>2</sup> .K	
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	
	acob	adimensional	
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	
	opar	adimensional	
Característica construtiva	CTbaixa	binário	
	CTalta	binário	
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	
	solo	adimensional	
	pil	adimensional	
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	APambS (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	APambL (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	APambO (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
Áreas de Aberturas Externas	AAbN (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	AAbS (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	AAbL (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
	AAbO (m <sup>2</sup> )		<--Preencher ao lado
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	
	Somb	adimensional	
Características Gerais	AparInt	m <sup>2</sup>	
	PD	m	
	Caltura	adimensional	#DIV/0!
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	#
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	#
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	#
			#VALORE!

Figura 53 – Planilha Envoltória.

Fonte: CB3E, <http://cb3e.ufsc.br> (2013).

A avaliação da envoltória foi feita por área de permanência prolongada (APP). No casa *Ekó House*, foi considerado somente um ambiente de permanência prolongada, o qual, por sua vez, considera toda a casa, com exceção do banheiro.

Nessa primeira parte, são avaliados também os pré-requisitos da APP e da Unidade Habitacional Autônoma (UH), que são:

- pré-requisito da envoltória;
- pré-requisito da iluminação natural;
- pré-requisito da ventilação natural;
- pré-requisito da ventilação cruzada; e
- pré-requisito da ventilação natural de 50% dos banheiros.

O não atendimento de só um dos pré-requisitos pode prejudicar drasticamente a avaliação final da casa.

**Tabela 17 – Equivalentes numéricos da envoltória nas oito zonas bioclimáticas.**

Cidade: Curitiba-PR ZB 1				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 143	C <sub>R</sub> ≤ 0,713	C <sub>A</sub> ≤ 16,7
B	4	143 < GHR ≤ 287	0,713 < C <sub>R</sub> ≤ 1,426	16,7 < C <sub>A</sub> ≤ 33,4
C	3	287 < GHR ≤ 430	1,426 < C <sub>R</sub> ≤ 2,138	33,4 < C <sub>A</sub> ≤ 50,099
D	2	430 < GHR ≤ 574	2,138 < C <sub>R</sub> ≤ 2,851	50,099 < C <sub>A</sub> ≤ 66,799
E	1	574 < GHR	2,851 < C <sub>R</sub>	66,799 < C <sub>A</sub>

Cidade: Santa Maria-RS ZB 2				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 2310	C <sub>R</sub> ≤ 5,849	C <sub>A</sub> ≤ 15,591
B	4	2310 < GHR ≤ 4396	5,849 < C <sub>R</sub> ≤ 11,288	15,591 < C <sub>A</sub> ≤ 31,182
C	3	4396 < GHR ≤ 6481	11,288 < C <sub>R</sub> ≤ 16,727	31,182 < C <sub>A</sub> ≤ 46,772
D	2	6481 < GHR ≤ 8567	16,727 < C <sub>R</sub> ≤ 22,166	46,772 < C <sub>A</sub> ≤ 62,363
E	1	8567 < GHR	22,166 < C <sub>R</sub>	62,363 < C <sub>A</sub>

Cidade: Florianópolis-SC ZB 3				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 822	C <sub>R</sub> ≤ 6,890	C <sub>A</sub> ≤ 6,429
B	4	822 < GHR ≤ 1643	6,890 < C <sub>R</sub> ≤ 12,284	6,429 < C <sub>A</sub> ≤ 12,858
C	3	1643 < GHR ≤ 2456	12,284 < C <sub>R</sub> ≤ 17,677	12,858 < C <sub>A</sub> ≤ 19,287
D	2	2456 < GHR ≤ 3286	17,677 < C <sub>R</sub> ≤ 23,071	19,287 < C <sub>A</sub> ≤ 25,716
E	1	3286 < GHR	23,071 < C <sub>R</sub>	25,716 < C <sub>A</sub>

Cidade: Brasília-DF ZB 4				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 727	C <sub>R</sub> ≤ 4,155	C <sub>A</sub> ≤ 5,838
B	4	727 < GHR ≤ 1453	4,155 < C <sub>R</sub> ≤ 8,306	5,838 < C <sub>A</sub> ≤ 11,675
C	3	1453 < GHR ≤ 2180	8,306 < C <sub>R</sub> ≤ 12,457	11,675 < C <sub>A</sub> ≤ 17,513
D	2	2180 < GHR ≤ 2906	12,457 < C <sub>R</sub> ≤ 16,608	17,513 < C <sub>A</sub> ≤ 23,350
E	1	2906 < GHR	16,608 < C <sub>R</sub>	23,350 < C <sub>A</sub>

Cidade: Niterói-RJ ZB 5				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 5209	C <sub>R</sub> ≤ 24,138	C <sub>A</sub> ≤ 38,206
B	4	5209 < GHR ≤ 8365	24,138 < C <sub>R</sub> ≤ 38,206	38,206 < C <sub>A</sub> ≤ 52,274
C	3	8365 < GHR ≤ 11520	38,206 < C <sub>R</sub> ≤ 52,274	52,274 < C <sub>A</sub> ≤ 66,342
D	2	11520 < GHR ≤ 14676	52,274 < C <sub>R</sub> ≤ 66,342	66,342 < C <sub>A</sub>
E	1	14676 < GHR	66,342 < C <sub>R</sub>	C <sub>A</sub>

Cidade: Campo Grande-MS ZB 6				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 2754	C <sub>R</sub> ≤ 11,221	C <sub>A</sub> ≤ 20,318
B	4	2754 < GHR ≤ 5489	11,221 < C <sub>R</sub> ≤ 20,318	20,318 < C <sub>A</sub> ≤ 29,414
C	3	5489 < GHR ≤ 8234	20,318 < C <sub>R</sub> ≤ 29,414	29,414 < C <sub>A</sub> ≤ 38,511
D	2	8234 < GHR ≤ 10978	29,414 < C <sub>R</sub> ≤ 38,511	38,511 < C <sub>A</sub>
E	1	10978 < GHR	38,511 < C <sub>R</sub>	C <sub>A</sub>

Cidade: Cuiabá-MG ZB 7				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 12566	C <sub>R</sub> ≤ 34,483	C <sub>A</sub> ≤ 52,805
B	4	12566 < GHR ≤ 18622	34,483 < C <sub>R</sub> ≤ 52,805	52,805 < C <sub>A</sub> ≤ 71,126
C	3	18622 < GHR ≤ 24679	52,805 < C <sub>R</sub> ≤ 71,126	71,126 < C <sub>A</sub> ≤ 89,448
D	2	24679 < GHR ≤ 30735	71,126 < C <sub>R</sub> ≤ 89,448	89,448 < C <sub>A</sub>
E	1	30735 < GHR	89,448 < C <sub>R</sub>	C <sub>A</sub>

Cidade: Salvador-BA ZB 8				
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	GHR ≤ 5209	C <sub>R</sub> ≤ 24,138	C <sub>A</sub> ≤ 38,206
B	4	5209 < GHR ≤ 8365	24,138 < C <sub>R</sub> ≤ 38,206	38,206 < C <sub>A</sub> ≤ 52,274
C	3	8365 < GHR ≤ 11520	38,206 < C <sub>R</sub> ≤ 52,274	52,274 < C <sub>A</sub> ≤ 66,342
D	2	11520 < GHR ≤ 14676	52,274 < C <sub>R</sub> ≤ 66,342	66,342 < C <sub>A</sub>
E	1	14676 < GHR	66,342 < C <sub>R</sub>	C <sub>A</sub>

Com os resultados da envoltória, serão obtidos os valores para o indicador de Graus Hora de Resfriamento (GHR), de consumo relativo para aquecimento (CA), de consumo relativo à refrigeração (CR) da *Ekó House* nas oito zonas bioclimáticas. Com eles, determina-se o equivalente numérico da envoltória da casa para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr), aquecimento (EqNumEnvAmbA) e

refrigeração artificial (EqNumEnvAmbRefrig), conforme mostra a Tabela 17.

### **3.5.2 Aquecimento de água**

Avaliada a envoltória da casa, o passo seguinte foi avaliar o sistema de aquecimento de água feito pelos quatro coletores da casa. Na avaliação, é feita uma análise dos pré-requisitos dos coletores solares e depois é avaliada a fração radiante que, para a obtenção do nível A, deve ser maior do que 70%. Para cada cidade avaliada, foi feita a avaliação do sistema de aquecimento de água. A avaliação foi feita por meio de uma planilha, também desenvolvida pelo LabEEE.

Os coletores solares instalados na casa, como explicado anteriormente, são produzidos na Alemanha, e por isso não são classificados pelo INMETRO. Para se avaliar o sistema de aquecimento de água no método do RTQ-R, os coletores solares devem ser etiquetados pelo INMETRO e por essa razão, na avaliação, foi escolhido um modelo de coletores com características de dimensões, material, eficiência, rendimento óptico ( $Fr(\tau_\alpha)n$ ) e coeficiente global de perdas de calor ( $Fr_{UL}$ ) parecidos com os coletores instalados na casa.

### **3.5.3 Bonificações e etiqueta final**

Avaliado o sistema de aquecimento de água, foi analisada a presença eventual de bonificações na casa. Constatou-se, então, que existem oito tipos de bonificações para melhorar o nível de eficiência final, podendo elevar em um nível a classificação final. As oito tipologias das bonificações são:

- b1: bonificação referente à ventilação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,40 pontos;
- b2: bonificação referente à iluminação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,30 pontos;
- b3: bonificação referente ao uso racional de água, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- b4: bonificação referente ao condicionamento artificial de ar, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;

- b5: bonificação referente à iluminação artificial, cuja pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- b6: bonificação referente a ventiladores de teto instalados na UH, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- b7: bonificação referente a refrigeradores instalados na UH, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos; e
- b8: bonificação referente à medição individualizada, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

A classificação final é o resultado da avaliação desses três elementos, que possuem pesos diferentes de acordo com a região geográfica na qual a casa se localiza, como mostra também a equação final:

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + \text{Bonificações}$$

Onde:

PTUH: pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da Unidade Habitacional Autônoma, quando ventilada naturalmente;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água; e

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

É importante ressaltar que, assim como na avaliação da casa, por meio do método prescritivo do RTQ-R, de nenhuma forma o sistema fotovoltaico entra na avaliação final.

### 3.6 ANÁLISE DA *EKÓ HOUSE* POR MEIO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R

Uma vez avaliada a casa por meio do método prescritivo do RTQ-R, a *Ekó House* também pôde ser analisada por meio do método de simulação do RTQ-R. As cidades avaliadas, conforme citado anteriormente, serão as mesmas cidades observadas na metodologia anterior, com exceção da cidade da ZB 5, que não foi avaliada. Foi feita, dessa forma, uma avaliação da casa somente na orientação que obteve o melhor desempenho no método do balanço energético.

A avaliação se estrutura nas mesmas três etapas do método anterior, mas, dessa vez, a envoltória é avaliada por meio da simulação da casa com o programa *Energy Plus*.

#### 3.6.1 Envoltória

Nesse método, o desempenho da envoltória da edificação é determinado por meio de simulação computacional. Para as simulações, foi utilizado o modelo geométrico descrito na seção 3.3. Os parâmetros relativos à modelagem e ao controle do sistema de ventilação natural, assim como às taxas de infiltração de ar, ao padrão de ocupação, à atividade, às cargas internas de equipamentos, ao padrão de uso da iluminação e à temperatura do solo da *Ekó House* são os mesmos parâmetros recomendados no RTQ-R, disponíveis no capítulo intitulado “Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método de simulação” (RTQ-R, 2012). Veja, a seguir, alguns desses parâmetros:

a) Temperatura de conforto: para a avaliação dos números de Graus Horas, a temperatura prescrita é de 26° C, acima dos quais são calculados os números de horas de desconforto pelo calor. Para avaliar o aquecimento da casa e o sistema de refrigeração da temperatura de conforto deverá estar entre 22°-24°.

b) Padrão de ocupação: é modelado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para o final de semana (Tabela 18) (RTQ-R, 2013).

**Tabela 18 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana.**

Fonte: RTQ-R (2013).

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Os valores recomendados para as taxas metabólicas foram baseados na *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (2009), considerando uma área de pele média de 1,80 m<sup>2</sup> (equivalente à área de pele de uma pessoa média). Quando a cozinha for ocupada por mais de uma pessoa, somente uma estará com taxa metabólica de 95 W/m<sup>2</sup>, sendo que os outros ocupantes podem estar com taxas metabólicas de 60 W/m<sup>2</sup>. (Tabela 19) (RTQ-R, 2013).

**Tabela 19 – Taxas metabólicas para cada atividade.**

Fonte: RTQ-R (2013).

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m <sup>2</sup> )	Calor produzido para área de pele = 1,80 m <sup>2</sup> (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

- b) Padrão de uso dos equipamentos: a iluminação é simulada somente nos ambientes de permanência prolongada e é modelada considerando a densidade de potência, conforme mostra a Tabela 20.

**Tabela 20 – Densidade da potência instalada de iluminação.**

Fonte: RTQ-R (2013).

Ambiente	DPI (W/m <sup>2</sup> )
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

O padrão de uso da iluminação é também modelado de forma diferente para os dias de semana e para o final de semana (Tabela 21) (RTQ-R, 2013).

**Tabela 21 – Padrão de uso da iluminação.**

Fonte: RTQ-R (2013).

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

As cargas internas de equipamentos devem ser modeladas para a sala. O período e a potência das cargas internas é constante nas 24 horas para um a potência de  $1,5 \text{ W/m}^2$ .

O sistema de ar condicionado é simulado no período das 21 h às 08 h. Sendo assim, as características técnicas do sistema compreendem:

- modo de operação do ventilador contínuo;
- eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9;
- razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W; e
- razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W;

Para alcançar os resultados relativos à envoltória, a casa teve de ser avaliada por meio de duas simulações distintas para cada cidade: uma simulação da edificação naturalmente ventilada para obtenção da Envoltória Para Verão (GHR), e outra da edificação condicionada artificialmente para obtenção da Envoltória para Inverno (CA) e do consumo para refrigeração ( $C_R$ ).

Dessa forma, os arquivos climáticos das cidades, utilizados para a simulação da envoltória da casa, devem estar em formato *TRY* e *SWERA*.

Também no método de simulação do RTQ-R, são avaliados dois pré-requisitos, que são: a iluminação natural e a ventilação natural. O não atendimento de apenas um dos dois pré-requisitos pode prejudicar a avaliação final da casa.

Com os resultados da envoltória, serão obtidos os valores para o indicador de Graus Hora de resfriamento (GHR), de consumo relativo para aquecimento (CA) e de consumo relativo à refrigeração (CR) da casa *Ekó House* nas oito zonas bioclimáticas. Com eles, determina-se o equivalente numérico da envoltória da casa para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr), o aquecimento (EqNumEnvAmbA) e a refrigeração artificial (EqNumEnvAmbRefrig), conforme mostra a Tabela 15.

### 3.6.2 Aquecimento de água

Avaliada a envoltória da casa, o passo seguinte foi avaliar o sistema de aquecimento de água feito pelos quatro coletores da casa. A avaliação do sistema de aquecimento é a mesma realizada no método prescritivo do RTQ-R, descrito na seção 3.5.2.

### 3.6.3 Bonificações e etiqueta final

Avaliado o sistema de aquecimento de água, foi analisada a presença eventual de bonificações na casa. Inclusive, nesse caso, a avaliação das bonificações é a mesma do RTQ-R prescritivo.

A classificação final é o resultado da avaliação desses três elementos, que possuem pesos diferentes, de acordo com a região geográfica à qual a casa se localiza, como mostra, também, a equação final:

$$PTUH = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + \text{Bonificações}$$

Onde:

PTUH: pontuação total do nível de eficiência da Unidade Habitacional Autônoma;

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da Unidade Habitacional Autônoma, quando ventilada naturalmente;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água; e

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

É importante ressaltar que, assim como na avaliação da casa, por meio do método de simulação do RTQ-R, de nenhuma forma o sistema fotovoltaico entra na avaliação final.

### 3.7 ALTERAÇÕES DE PROJETO

Avaliada a *Ekó House* no seu projeto original, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, por meio dos três métodos de análise apresentados, foram propostas alterações de projeto para melhorar a eficiência energética da casa no território brasileiro. Os três parâmetros usados para essa avaliação permitem analisar de forma gradual as melhores alterações de estrutura da casa, ou seja, permitem, com uma análise mais geral, por meio das entrevistas, que deram uma ideia compreensiva sobre o que poderia ser alterado ou não da *Ekó House*, uma análise pontual feita por cada cidade avaliada com o estudo bioclimático. Assim, percebe-se como os três parâmetros analisam as alterações da *Ekó House* de forma diferente.

As alterações indicadas são o resultado de três diferentes avaliações:

- a) Entrevistas abertas com três membros da equipe *Team Brasil*.
- b) Avaliação das normas brasileiras em matéria de eficiência energética nas edificações residenciais.
- c) Análise bioclimática de cada cidade brasileira, avaliada por meio do programa *Climate Consultant*.

A análise feita para se definir as alterações projetuais da casa começaram com um estudo mais geral, junto das entrevistas que analisam o possível desempenho da casa no Brasil, para depois se fazer uma análise com base nas oito zonas bioclimáticas por meio das normas brasileiras, para que finalmente possam ser avaliadas as características climáticas de cada cidade no Brasil.

#### **3.7.1 Entrevistas aos membros da equipe *Team Brasil***

A primeira análise realizada para definir as mudanças de projeto da casa foi por meio das entrevistas com dos membros da equipe *Team Brasil*. Os três membros entrevistados foram: a professora do curso de Arquitetura da Universidade de Santa Catarina(UFSC) Thêmis Da Cruz Fagundes, o professor do curso de Arquitetura da Universidade de Santa Catarina (UFSC) José Ripper Kos, e o mestrando em Arquitetura na Universidade de Paris Rovy Pessoa Ferreira. O objetivo da entrevista aberta foi entender o processo de realização do projeto da *Ekó House* e avaliar quais possíveis alterações projetuais serão necessárias para

melhorar a eficiência energética dessa casa no Brasil sem que se altere o seu conceito original.

A entrevista aberta foi estruturada nas seguintes perguntas:

- 1) Qual foi a sua participação no projeto?
- 2) Qual é a relação entre o projeto da casa e o regulamento da competição?
- 3) Depois da sua experiência no *Solar Decathlon*, o que você teria mudado no projeto?
- 4) Quando foi pensado e realizado o projeto da casa *Ekó House* para a participação na competição, foi pensado também na utilização dela no futuro?
- 5) Quais elementos da arquitetura brasileira estão presentes na casa?
- 6) Esses elementos são adequados para o clima brasileiro?
- 7) Qual será, na sua opinião, o comportamento energético da *Ekó House* no território brasileiro? Em qual cidade do Brasil o desempenho da casa seria melhor? Em que cidade seria pior?
- 8) Qual(quais) é(são) a(s) principal(is) alteração(ões) que você faria para que a casa possa se adaptar melhor aos climas brasileiros?
- 9) Para você, qual é o elemento/sistema da casa que mais influencia a eficiência energética? As estratégias passivas e ativas usadas são adequadas aos diferentes climas brasileiros?
- 10) Quais elementos da casa não poderão ser alterados de maneira alguma para que o conceito original da *Ekó House* se mantenha?

No Anexo 1, encontram-se as entrevistas completas dos três membros da equipe.

### **3.7.2 Normas brasileiras de eficiência energética em edifícios residenciais**

As normas brasileiras em matéria de eficiência energética em edifícios residenciais foram a segunda metodologia usada para se definir

as alterações de projeto da casa. Primeiramente, foram avaliadas as seguintes normas de desempenho térmico:

- a) Norma NBR 15220, que estabelece, para cada zona bioclimática, valores mínimos das características térmicas da envoltória, aberturas mínimas para ventilação dos ambientes e uso de elementos de sombreamento, como mostra a Tabela 22.

**Tabela 22 – Diretrizes construtivas da NBR 15220.**

Zona Bioclimática	NORMA NBR 15220			
	Parede Externas	Cobertura	Aberturas	
	U min	U min	A (%da área de piso)	Sombreamentos Das Aberturas
ZB 1	$\leq 3,0$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante Inverno
ZB 2	$\leq 3,0$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante Inverno
ZB3	$\leq 3,60$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante Inverno
ZB4	$\leq 2,20$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Sombrear aberuras
ZB5	$\leq 3,60$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Sombrear aberuras
ZB6	$\leq 2,20$	$\leq 2,00$	$15\% < A < 25\%$	Sombrear aberuras
ZB7	$\leq 2,20$	$\leq 2,00$	$10\% < A < 15\%$	Sombrear aberuras
ZB8	$\leq 3,60$	$\leq 2,30$	$A > 40\%$	Sombrear aberuras

- b) Norma NBR 15575, que estabelece, como a precedente, para cada zona bioclimática, valores mínimos das características térmicas da envoltória, aberturas mínimas para ventilação dos ambientes em edificações de ate cinco pavimentos, como mostra a Tabela 23.

**Tabela 23 – Diretrizes construtivas da NBR 15575.**

Zona Bioclimática	NORMA NBR 15575					
	Parede Externas		Cobertura		Aberturas	
	U min	CT min	U min	$\alpha$	A (%da área de piso)	Sombreamentos Das Aberturas
ZB 1	$\leq 2,5$	$\geq 130$	$\leq 2,3$	-	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB 2	$\leq 2,5$	$\geq 130$	$\leq 2,3$	-	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB3	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB4	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB5	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB6	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB7	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,4$ $\alpha > 0,4$	$A \geq 7\%$	Sem requisito
ZB8	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	Sem requisito	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,4$ $\alpha > 0,4$	$A \geq 12\%$ região Norte $A \geq 8\%$ região Nordeste e Sudeste	Sem requisito

c) Regulamento de eficiência energética nas edificações residenciais (RTQ-R), que estabelece, para o melhor nível de certificação energética e atendimento aos pré-requisitos, para cada zona bioclimática em matéria de características térmicas da envoltória, aberturas mínimas para ventilação e iluminação dos ambientes, como mostra a Tabela 24.

**Tabela 24 – Pré-requisitos do RTQ-R**

Zona Bioclimática	RTQ-R					
	Parede Externas		Cobertura		Aberturas	
	U min	CT min	U min	$\alpha$	A (%da área de piso) ventilação natural	A (%da área de piso) iluminação natural
ZB 1	$\leq 2,5$	$\geq 130$	$\leq 2,3$	-	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB 2	$\leq 2,5$	$\geq 130$	$\leq 2,3$	-	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB3	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB4	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB5	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB6	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$ $\alpha > 0,6$	$A \geq 8\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB7	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	$\geq 130$	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,4$ $\alpha > 0,4$	$A \geq 5\%$	$A \geq 12,5\%$
ZB8	$\leq 3,7$ $\alpha \leq 0,6$ $\leq 2,5$ $\alpha > 0,6$	Sem requisito	$\leq 2,3$ $\leq 1,5$	$\alpha \leq 0,4$ $\alpha > 0,4$	$A \geq 10\%$	$A \geq 12,5\%$

Nessa primeira análise das normas, em matéria de desempenho térmico de edifícios residenciais, percebe-se como as mesmas diretrizes são avaliadas de forma diferente para cada norma. Esse elemento será considerado na hora da avaliação das alterações projetuais mais adaptadas às diferentes cidades brasileiras.

Uma vez avaliada a casa no quesito da envoltória, em cada uma das cidades brasileiras, por meio das normas apresentadas, serão analisadas as normas a fim de otimizar a eficiência nos elementos de geração de energia e produção de água quente. Sendo assim, as normas avaliadas são:

d) NBR 15569, a qual estabelece que para obter o melhor desempenho de um sistema fotovoltaico, este deve estar perpendicular ao Norte e com uma inclinação igual à latitude do lugar.

e) NBR 10899, a qual estabelece que para obter o melhor desempenho dos coletores solares, estes devem estar perpendiculares ao Norte e com uma inclinação dez graus maior à latitude do lugar.

### 3.7.3 Análise bioclimática das cidades brasileiras

Com a análise bioclimática das 20 cidades brasileiras onde foi avaliada a casa, conclui-se a procura das alterações de projeto para melhorar a eficiência energética da *Ekó House*. O estudo bioclimático, feito por meio do programa *Climate Consultant*, permite ter uma ideia melhor sobre as condições climáticas de cada cidade, avaliando diferentes aspectos que caracterizam o microclima. Dessa forma, para cada cidade, será possível realizar uma avaliação pontual, que indicará as melhores estratégias para aquele tipo de clima. A análise é feita seguindo o modelo de conforto da norma *ASHRAE Standard 55-2010*.

Em seguida, será apresentado o exemplo da avaliação de uma cidade (Florianópolis), a fim de que se possa entender como é feita a avaliação.

Primeiramente, é avaliada a temperatura externa da cidade. Como mostra a Figura 54, a temperatura externa é avaliada de forma mensal, indicando a temperatura máxima e mínima, e, ao mesmo tempo, a temperatura de conforto para aquele mês. Também é avaliada a amplitude térmica, que determinará se naquela época do ano as variações de temperatura serão elevadas. Esses dados são úteis para definir o fechamento externo de uma edificação. Como exemplo, quanto maior a amplitude térmica, recomenda-se componentes arquitetônicos com maior inércia térmica.

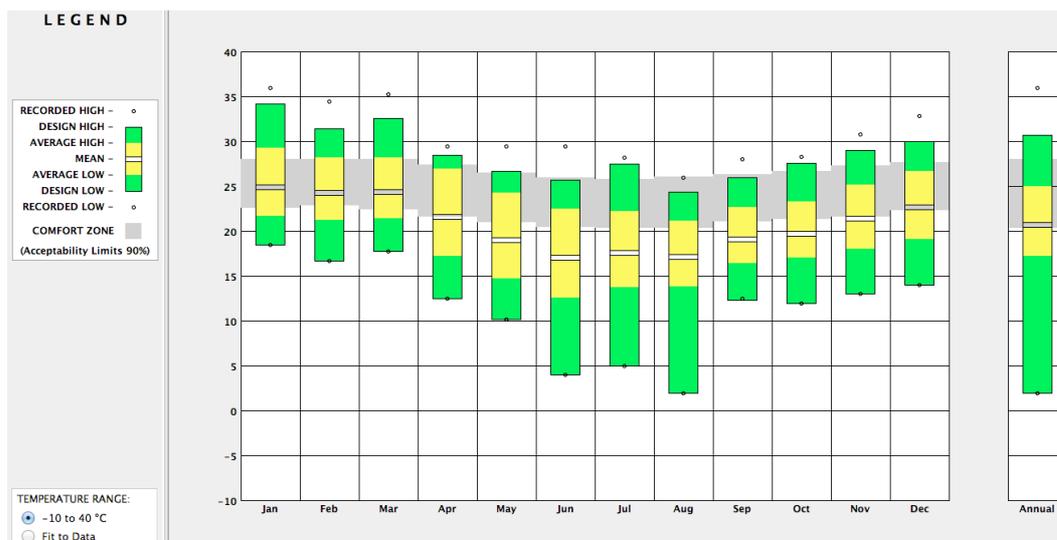


Figura 54 – Análise da temperatura mensal em Florianópolis.

Fonte: *Climate Consultant* (2013).

Em seguida, é avaliada a radiação global horizontal incidente. Esse parâmetro é importante para se estudar o ganho de calor interno na casa, o qual pode ser utilizado de forma diferente no inverno e no verão. Além disso, os sistemas solares instalados na casa são influenciados de forma direta pela incidência da radiação (Figura 55).

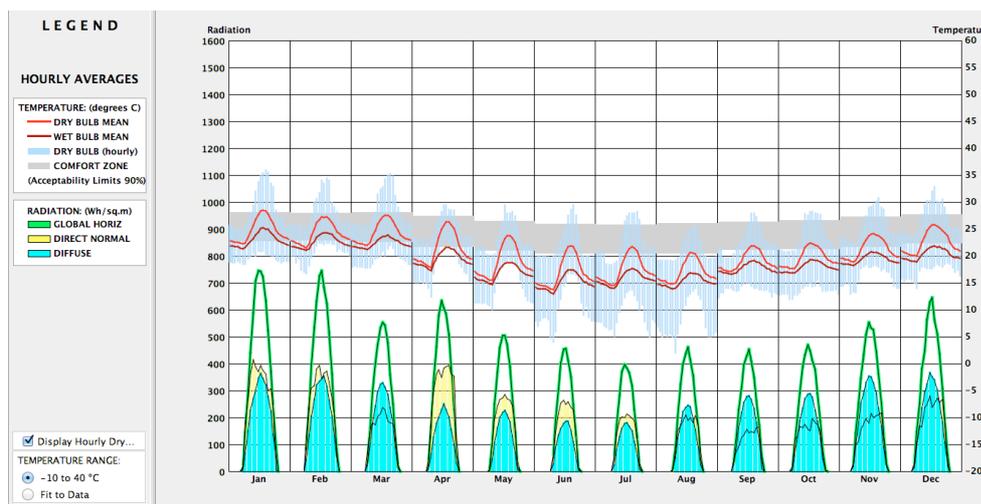
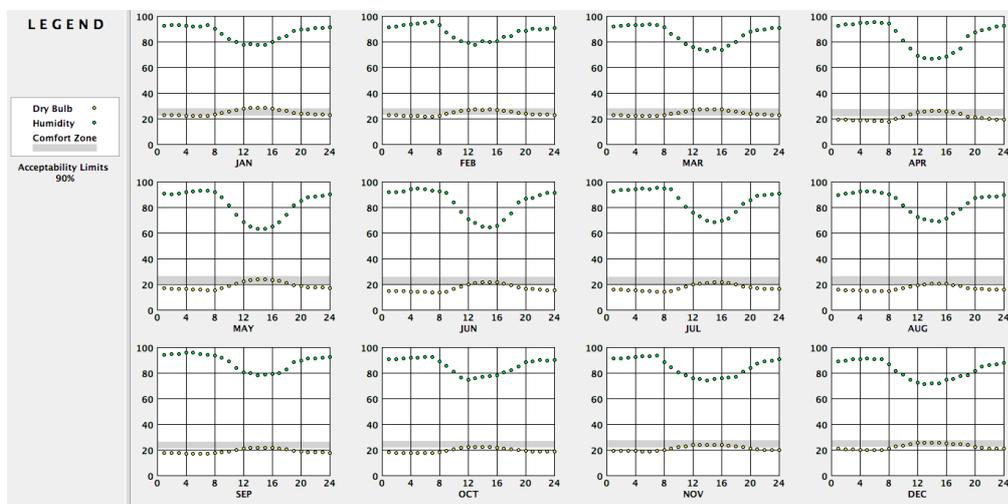


Figura 55 – Análise da radiação global mensal em Florianópolis.

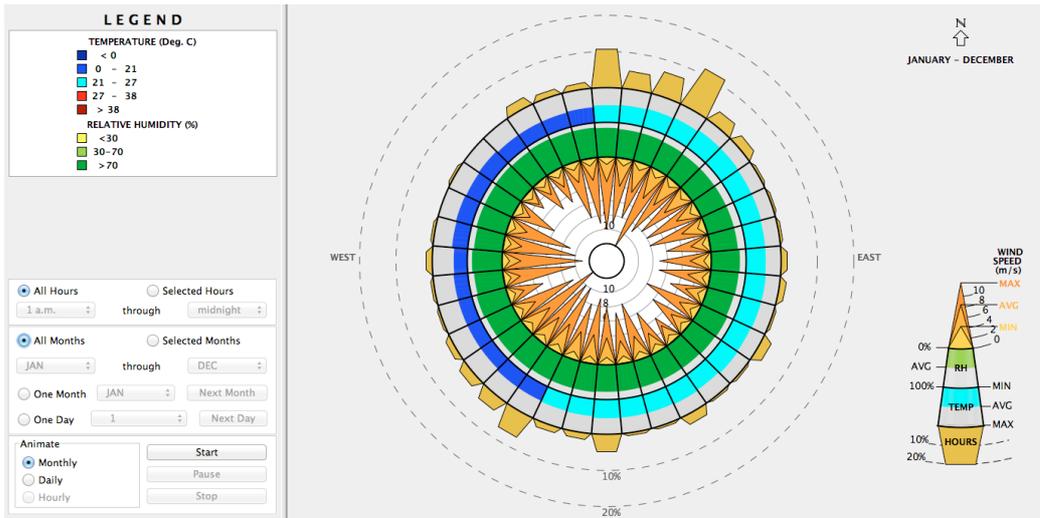
Fonte: *Climate Consultant* (2013).

Outro fator avaliado é a umidade relativa mensal, que influencia diretamente a temperatura externa, como mostra a Figura 56. A umidade relativa, que é diretamente ligada à temperatura externa, tem uma maior influência com temperaturas elevadas, determinando as características construtivas da edificação (características da envoltória, aberturas das janelas).



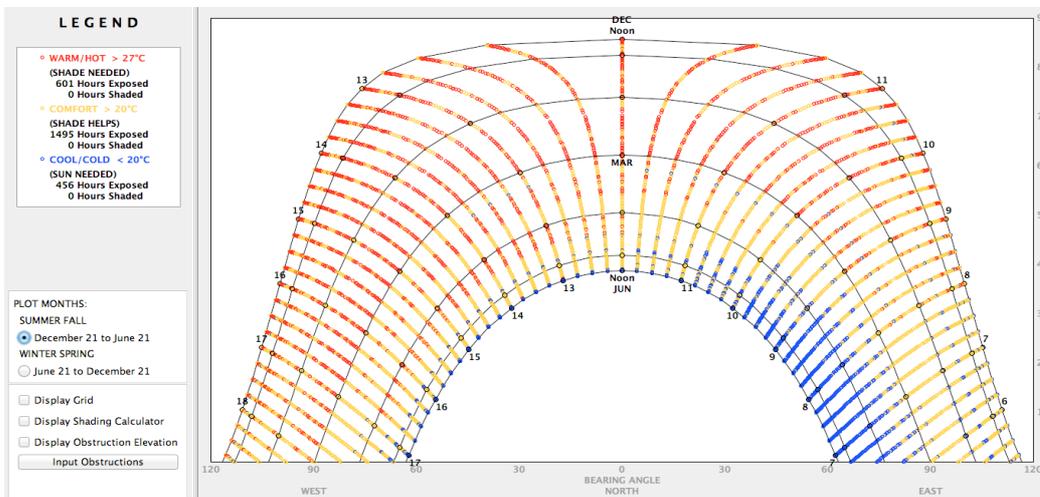
**Figura 56 – Humidade relativa mensal em Florianópolis.**  
 Fonte: *Climate Consultant* (2013).

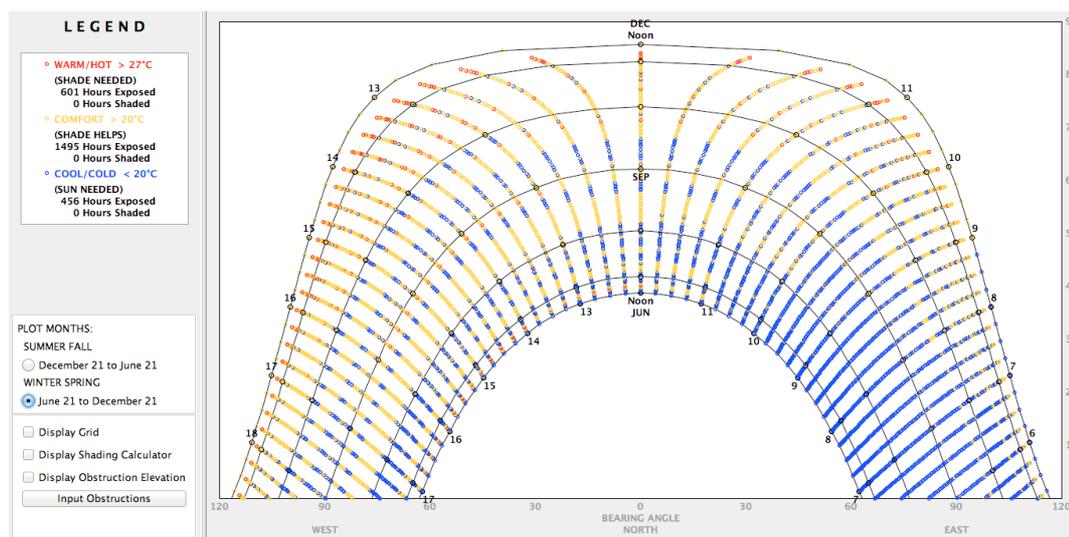
Além disso, A intensidade e a orientação dos ventos no ano é outra componente que foi avaliada. O estudo da ventilação predominante, pode ser uma estratégia passiva para diminuir a temperatura interna da casa, melhorando o conforto térmico do edifício (Figura 57).



**Figura 57 – Intensidade e orientação dos ventos em Florianópolis.**  
 Fonte: *Climate Consultant* (2013).

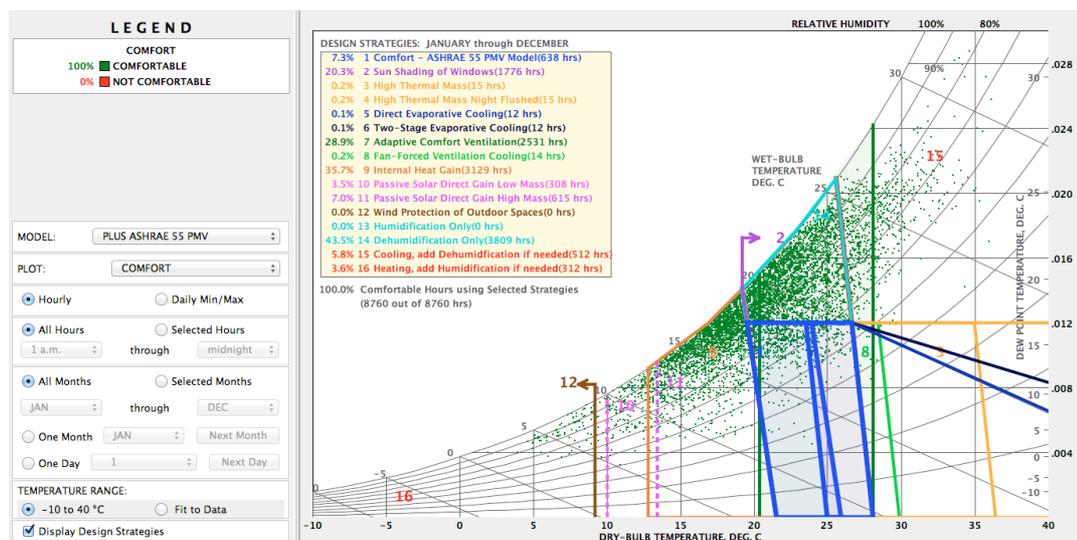
A Figura 58, a seguir, representa as cartas solares no ano, com a indicação das horas de conforto e de desconforto. O estudo e a correta interpretação das cartas ajudam a entender e a utilizar da forma mais correta os elementos de sombreamento durante as horas quentes do ano. Durante as horas de desconforto para frio, ao contrário, a irradiação direta pode ser uma solução útil a fim de criar conforto térmico interno.





**Figura 58 – Horas de conforto térmico em Florianópolis.**  
Fonte: *Climate Consultant* (2013).

Por fim, a análise feita com o programa *Climate Consultant* indica as estratégias para a obtenção do conforto térmico na casa, por meio do estudo da carta psicrométrica, como mostra a Figura 59.



**Figura 59 – Estratégias para conforto térmico em Florianópolis.**

Fonte: *Climate Consultant* (2013).

Por meio da avaliação dos resultados das entrevistas, das normas brasileiras e da análise bioclimática das 20 cidades, será possível encontrar as melhores alterações projetuais da casa *Ekó House* para o clima brasileiro.

### 3.8 ANÁLISE DA *EKÓ HOUSE* COM AS ALTERAÇÕES DE PROJETO

Escolhidas as alterações de projeto da casa *Ekó House* nas diferentes cidades brasileiras, o modelo da casa será adaptado com as mudanças projetuais a fim de se poder avaliá-lo novamente por meio das três metodologias apresentadas.

Assim, uma vez feitas as alterações de projeto na *Ekó House*, serão avaliadas as três metodologias da seguinte forma:

a) Método do balanço energético: a casa será simulada nas 20 cidades escolhidas, na orientação que obteve o melhor desempenho na avaliação precedente, conforme o procedimento explicado na seção 3.4. Além disso, será avaliado o número de módulos fotovoltaicos e de coletores solares necessários para atender o consumo anual de energia e de água quente da *Ekó House*.

b) Método Prescritivo RTQ-R: a casa será avaliada nas oito mesmas cidades analisadas, com esse método antes das alterações de projeto, conforme o procedimento explicado no item 3.5.

c) Método de Simulação RTQ-R: a casa será avaliada nas sete mesmas cidades analisadas, com esse método antes das alterações de projeto, conforme o procedimento explicado na seção 3.6.

Dessa forma, será obtida a avaliação da casa com as alterações de projeto para melhorar a eficiência energética da *Ekó House* no Brasil.

### 3.9 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA *EKÓ HOUSE*

Uma vez avaliadas as alterações de projeto na *Ekó House*, o passo final será comparar os resultados obtidos, nas três diferentes formas de avaliação, antes e depois das alterações projetuais. Dessa forma, será possível identificar se as mudanças de projeto melhoraram o desempenho final da casa no Brasil, justificando as adaptações apontadas para a *Ekó House*. Os parâmetros de avaliação serão:

a) no balanço energético: os parâmetros serão o consumo e a produção fotovoltaica calculada em kWh por ano; e

b) no RTQ-R: Graus Horas ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ), para a envoltória de verão, e consumo em  $\text{kWh}/\text{m}^2$  ano, destinado à envoltória de inverno e ao ambiente refrigerado artificialmente.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e as discussões obtidas por meio da aplicação da metodologia descrita anteriormente; os resultados exibidos estão divididos em cinco subcapítulos (Figura 60).

Primeiramente, serão apresentados os resultados relativos à análise da casa *Ekó House* na cidade de Madri e nas diferentes cidades brasileiras, sem alterações projetuais. Esses resultados serão obtidos por meio de três diferentes metodologias de avaliação da casa: balanço energético, RTQ-R prescritivo e RTQ-R simulação.

O segundo subcapítulo apresenta as alterações projetuais propostas para melhorar a eficiência energética da casa nas cidades brasileiras. As alterações são o resultado da interação dos dados obtidos por meio do estudo das normas brasileiras em matéria de eficiência energética, das entrevistas feitas com três membros da casa e do estudo bioclimático das cidades brasileiras, obtido por meio do programa *Climate Consultant*.

Com as mudanças projetuais, foram encontrados os resultados da casa nas diferentes cidades brasileiras, como as alterações projetuais (*Ekó House* com alterações) descritas no capítulo anterior. Os resultados foram obtidos por meio da mesma metodologia utilizada na avaliação da casa antes as alterações.

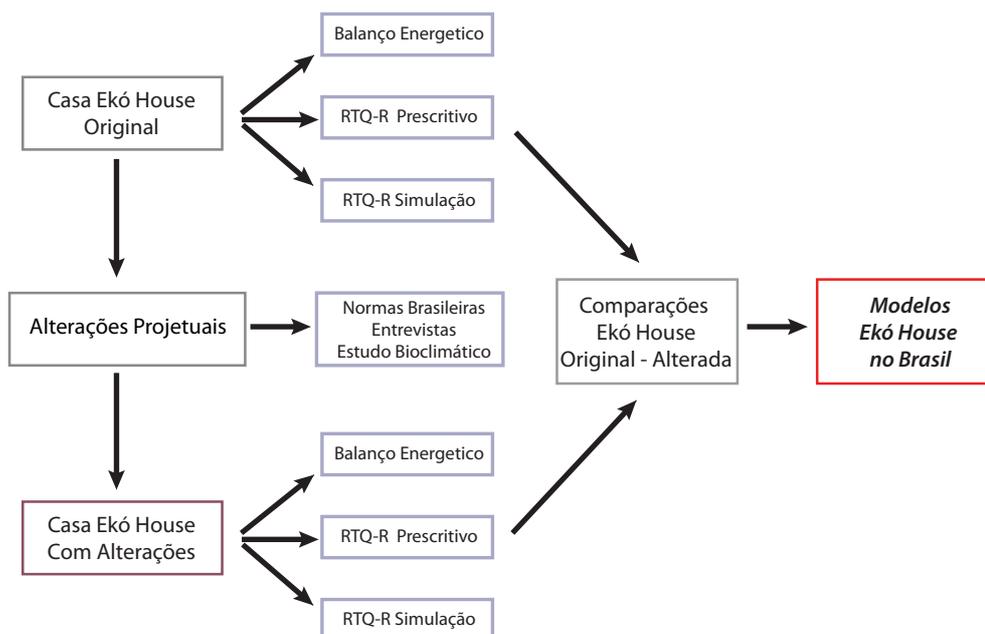


Figura 60 – Esquema da análise dos resultados

No quarto subcapítulo, foram comparados os resultados das avaliações da casa, antes e depois das modificações, a fim de que se fosse possível analisar o real melhor desempenho da casa após as intervenções projetuais.

Por fim, no último subcapítulo, será apresentado o projeto final da casa para as diferentes cidades brasileiras avaliadas, com indicações projetuais para o melhor desempenho de *Ekó House* no Brasil.

#### 4.1 RESULTADOS: CASA *EKÓ HOUSE* ORIGINAL

A avaliação da *Ekó House* no seu projeto original, como descrito anteriormente, foi feita por meio de três metodologias diferentes. Primeiramente, serão analisados os resultados obtidos por meio do balanço energético da casa.

A *Ekó House* foi avaliada nas 20 cidades brasileiras escolhidas com o método do balanço energético, e nas 8 cidades com o pior desempenho (Consumos), da precedente avaliação, com as outras duas metodologias (RTQ-R, prescritivos e simulação).

#### 4.2 MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO

Os primeiros resultados apresentados da *Ekó House*, no seu projeto original, são relativos ao balanço energético da casa nas 20 cidades brasileiras e na cidade de Madri.

O balanço energético analisa o consumo anual da casa dos dois moradores, a produção de água quente, por meio dos coletores solares, e a produção de energia elétrica com a utilização do sistema fotovoltaico.

O primeiro dado a ser analisado é a comparação do comportamento da casa na cidade de Madri e nas cidades brasileiras. Podemos afirmar que *Ekó House* obteve um desempenho parecido com os resultados da cidade da competição só em poucas cidades brasileiras, como Brasília, Goiânia e Montes Claros. Essas cidades têm geração fotovoltaica superior a 18000 kWh por ano e um consumo anual na média entre as cidades brasileiras. As outras cidades avaliadas apresentaram um balanço energético final bem a baixo comparado com a cidade da competição, por dois fatores: em um caso, para a menor geração fotovoltaica e, em outro, para um consumo anual acima da cidade de Madri.

Tabela 25 – Balanço energético da *Ekó House* no Brasil: projeto original.

		Consumos	Produção Fotovoltaica	Balanço Energético	Energia Economizada	
		[kWh/ano]	[kWh/ano]	[kWh/ano]	Coletores Solares	
					[kWh/ano]	
<b>ZB1</b>	<i>MADRID</i>	S	4107	18720	<b>14613</b>	1022
	<i>CURITIBA</i>	N	3757	16075	<b>12318</b>	
		L	3677	14900	<b>11223</b>	
		S	3825	14188	<b>10363</b>	
	O	4086	15475	<b>11389</b>		
<b>ZB2</b>	<i>SANTA MARIA</i>	N	4146	16692	<b>12546</b>	909
		L	4132	15354	<b>11222</b>	
		S	4125	14017	<b>9892</b>	
		O	4150	15480	<b>11330</b>	
	<i>IBIRITE</i>	N	4121	14856	<b>10735</b>	888
		L	4067	13924	<b>9857</b>	
		S	4124	13315	<b>9191</b>	
		O	4127	14124	<b>9997</b>	
<b>ZB3</b>	<i>SÃO PAULO</i>	N	3900	16205	<b>12305</b>	922
		L	3796	15634	<b>11838</b>	
		S	3875	14825	<b>10950</b>	
		O	3779	15452	<b>11673</b>	
	<i>FLORIANOPOLIS</i>	N	4210	13925	<b>9715</b>	862
		L	4176	13103	<b>8927</b>	
		S	4107	12134	<b>8027</b>	
		O	4221	13049	<b>8828</b>	
<b>ZB4</b>	<i>BRASILIA</i>	N	4336	18970	<b>14634</b>	868
		L	4241	18320	<b>14079</b>	
		S	4149	17450	<b>13301</b>	
		O	4136	18450	<b>14314</b>	
<b>ZB5</b>	<i>NITEROI</i>	N	4430	15498	<b>11068</b>	821
		L	4386	14862	<b>10476</b>	
		S	4220	14211	<b>9991</b>	
		O	4460	14854	<b>10394</b>	
	<i>GOVERNADOR VALADARES</i>	N	4775	14780	<b>10005</b>	783
		L	4610	14120	<b>9510</b>	
		S	4530	13899	<b>9369</b>	
		O	4820	14067	<b>9247</b>	
<b>ZB6</b>	<i>GOIANIA</i>	N	4606	18829	<b>14223</b>	758
		L	4496	18560	<b>14064</b>	
		S	4410	18012	<b>13602</b>	
		O	4660	18400	<b>13740</b>	
	<i>CAMPO GRANDE</i>	N	4865	18678	<b>13813</b>	742
		L	4757	18340	<b>13583</b>	
		S	4598	17980	<b>13382</b>	
		O	4902	18270	<b>13368</b>	
	<i>MONTES CLAROS</i>	N	4732	19340	<b>14608</b>	740
		L	4658	18906	<b>14248</b>	
		S	4512	18140	<b>13628</b>	
		O	4808	18886	<b>14078</b>	

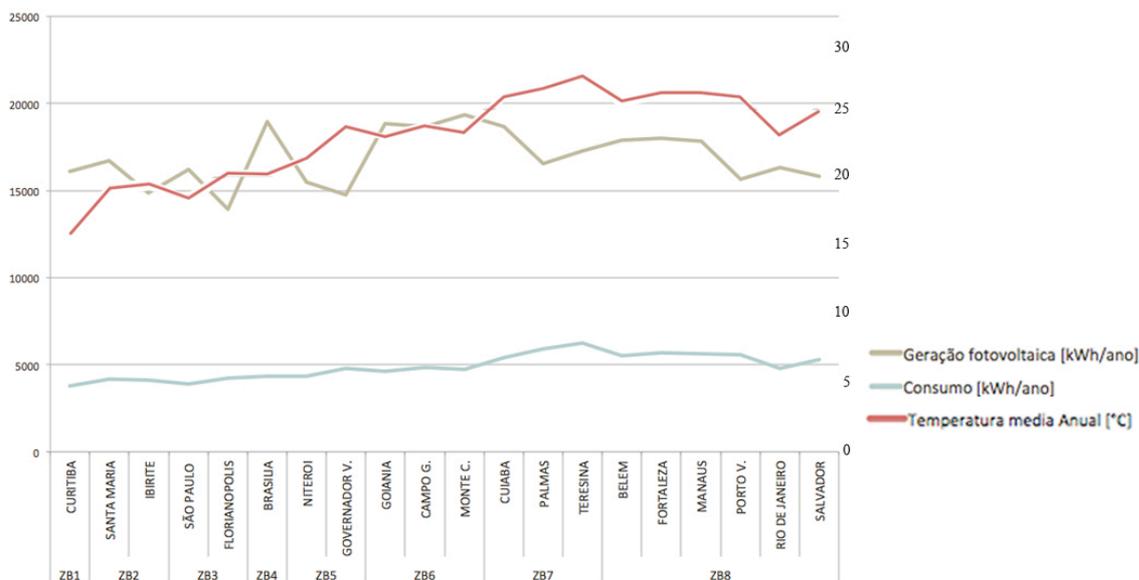
ZB7	CUIABÁ	N	5416	18654	<b>13238</b>	540					
		L	5289	17955	<b>12666</b>						
		S	5285	17421	<b>12136</b>						
		O	5339	18144	<b>12805</b>						
	PALMAS	N	5888	16570	<b>10682</b>		522				
		L	5797	16204	<b>10407</b>						
		S	5617	15680	<b>10063</b>						
		O	5947	16034	<b>10087</b>						
	TERESINA	N	6288	17272	<b>10984</b>			516			
		L	6252	17244	<b>10992</b>						
		S	6237	16960	<b>10723</b>						
		O	6337	17120	<b>10783</b>						
ZB8	BELÉM	N	5537	17730	<b>12193</b>	552					
		L	5539	17875	<b>12336</b>						
		S	5478	17551	<b>12073</b>						
		O	5595	17545	<b>11950</b>						
	FORTALEZA	N	5693	17987	<b>12294</b>		537				
		L	5670	17898	<b>12228</b>						
		S	5626	17536	<b>11910</b>						
		O	5726	17756	<b>12030</b>						
	MANAUS	N	5628	17811	<b>12183</b>			543			
		L	5650	17750	<b>12100</b>						
		S	5687	17532	<b>11845</b>						
		O	5732	17698	<b>11966</b>						
	PORTO VELHO	N	5568	15640	<b>10072</b>				578		
		L	5528	15234	<b>9706</b>						
		S	5500	14120	<b>8620</b>						
		O	5651	14980	<b>9329</b>						
	RIO DE JANEIRO	N	4778	16340	<b>11562</b>					623	
		L	4684	15670	<b>10986</b>						
		S	4547	14590	<b>10043</b>						
		O	4869	15780	<b>10911</b>						
	SALVADOR	N	5205	15817	<b>10612</b>						549
		L	5234	15567	<b>10333</b>						
		S	5150	14344	<b>9194</b>						
		O	5268	15434	<b>10166</b>						

Como mostra a Tabela 25, o balanço energético da casa nas diferentes cidades analisadas tem um comportamento não homogêneo. O balanço energético mostra como a casa tem um desempenho muito diferente entre as cidades do Brasil e, ao mesmo tempo, entre cidades da mesma zona bioclimática. Em geral, as cidades que obtiveram o melhor desempenho foram as cidades de Brasília e Montes Claros, respectivamente, as zona bioclimática 4 e 7, cidades em que se obteve as gerações fotovoltaicas maiores. Por outro lado, as cidades que obtiveram os desempenhos piores foram Florianópolis, Governador Valadares e Porto Velho, respectivamente, as zona bioclimáticas 3, 5 e 8; Florianópolis e Governador Valadares, por causa da baixa geração fotovoltaicas (a *Ekó House* em Florianópolis tem a menor geração fotovoltaica entre as cidades avaliadas), e Porto Velho, por causa do consumo anual elevado, com 5568 kWh por ano, e uma geração

fotovoltaica abaixo da média entre as 20 cidades estudadas.

Entrando mais no detalhe da análise dos primeiros resultados obtidos, percebe-se que a *Ekó House* tem um desempenho melhor com a orientação da fachada principal exposta para o norte. Este se verifica em 16 das 20 cidades brasileiras avaliadas. Só em 4 cidades (Teresina, Belém, Fortaleza e Manaus) a casa obteve um desempenho melhor com a orientação da fachada principal para o Leste. Isso acontece porque as 4 cidades estão localizadas no Norte do país, com uma latitude perto do zero, onde as variações de geração fotovoltaica e de consumos são mínimas entre as diferentes orientações. Mas, em geral, percebe-se que o balanço energético da casa, em todas as cidades, tem o desempenho pior com a orientação Sul por causa da baixa geração fotovoltaica, embora o consumo seja menor que nas outras orientações.

Observando a Figura 61, percebe-se como o consumo da casa tende a crescer razoavelmente, passando da zona bioclimática 1 à zona bioclimática 8. Esse resultado é diretamente associado com a temperatura média anual das cidades avaliadas. Verifica-se, dessa forma, como o consumo da *Ekó House* nas cidades da zona bioclimática 7 é maior que em todas as outras cidade avaliadas. Dessa primeira análise, é possível confirmar, então, como o desempenho da casa é melhor nas cidades mais frias do que nas cidades quentes.



**Figura 61 – Consumo-Geração anual da *Ekó House* no projeto original nas cidades brasileiras.**

Por outro lado, essa tendência observada nos consumos não tem uma correspondência na geração fotovoltaica, onde existe uma grande diferença entre cidades também da mesma zona bioclimática. Um exemplo desse fenômeno é a zona bioclimática 3, com as cidades de São Paulo e Florianópolis. As duas cidades, ainda que estejam localizadas na mesma zona bioclimática, e, geograficamente, fiquem muito perto uma da outra, elas apresentam uma geração fotovoltaica muito diferente. Na cidade de São Paulo, por exemplo, a casa consegue obter uma geração fotovoltaica quase 20% superior do que na cidade de Florianópolis.

Dessa primeira análise geral dos resultados obtidos, percebe-se como o que influencia mais essa heterogeneidade de resultados é a geração fotovoltaica que, como explicado na metodologia, não tem qualquer relação com o zoneamento bioclimático brasileiro.

Para ter uma mais ampla e pontual ideia dos resultados sobre o balanço energético da casa nas diferentes cidades brasileiras, todos os dados serão avaliados por partes, começando pelo consumo anual da *Ekó House* nas diferentes cidades.

#### **4.2.1 Consumo**

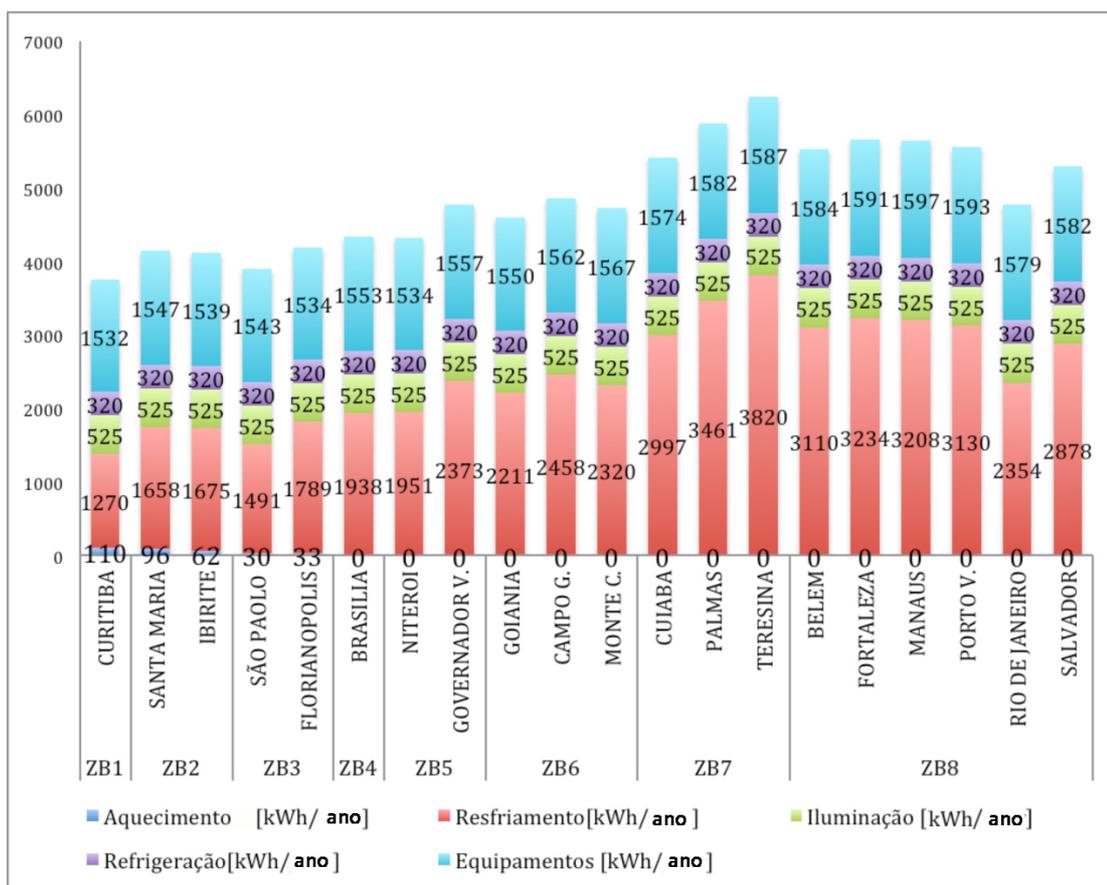
O consumo da casa *Ekó House*, como já mencionado anteriormente, apresenta grandes diferenças entre as 20 cidades avaliadas. Como mostra a Tabela 26, o consumo entre as cidades brasileiras chega a ter 66% de diferença entre a cidade com menor consumo (Curitiba – ZB1) e a cidade com maior consumo (Teresina – ZB7). Em geral, as cidades que apresentam um clima com uma temperatura média anual mais elevada têm um consumo maior.

Mas essa diferença de consumo verifica-se também na mesma zona bioclimática. Na Tabela 26, a seguir, são reportadas as diferenças de consumo entre cidades da mesma zona bioclimática; tais diferenças demonstram que, também na mesma zona bioclimática, as variações de consumo da casa podem ser significativas e superar a marca de 15%, como no caso da ZB7 e ZB8. Esse resultado demonstra como o zoneamento bioclimático brasileiro apresenta algumas anomalias, onde cidades da mesma zona têm características climáticas muito diferentes entre si. Por exemplo, a *Ekó House* avaliada na cidade do Rio de Janeiro, localizada na ZB8, apresentou um consumo anual muito parecido com as cidades da ZB5 e ZB6.

Tabela 26 – Variação percentual de consumo.

ZONA BIOCLIMÁTICA	CIDADE	% DE DIFERENÇA DE CONSUMO Zona Bioclimática	% DE DIFERENÇA DE CONSUMO Brasil
ZB1	CURITIBA	-	66
ZB2	SANTA MARIA	0,6	
	IBIRITE		
ZB3	SÃO PAULO	7,9	
	FLORIANOPOLIS		
ZB4	BRASILIA	-	
ZB5	NITEROI	7,78	
	GOVERNADOR VALADARES		
ZB6	GOLANIA	5,6	
	CAMPO GRANDE		
	MONTES CLAROS		
ZB7	CUIABÁ	15,4	
	PALMAS		
	TERESINA		
ZB8	BELÉM	18,7	
	FORTALEZA		
	MANAUS		
	PORTO VELHO		
	RIO DE JANEIRO		
	SALVADOR		

Mas quais são as razões dessas grandes diferenças de consumo da casa nas 20 cidades brasileiras? A Figura 62 demonstra que o que gera essa não homogeneidade no consumo da *Ekó House* no Brasil é o sistema de condicionamento de ar. Para manter a casa na temperatura de conforto durante o ano todo, o resfriamento do ambiente interno durante as horas quentes anuais provoca um elevado consumo energético em todas as cidades avaliadas. Por outro lado, também nas cidades mais frias, o consumo para o aquecimento da casa é muito baixo e presente só nas cidades da ZB1, ZB2 e ZB3.



**Figura 62 – Consumo anual da Ekó House nas cidades brasileiras.**

Em seguida, o gasto dos equipamentos interno é a segunda causa de consumo na casa. Entre as 20 cidades, não se encontra grande diferença porque todos os equipamentos são utilizados para o mesmo número de horas por ano. O que faz mudar um pouco o consumo final dos equipamentos é o gasto feito para o sistema de condicionamento de ar, que tem um uso anual que varia de cidade em cidade.

Em terceiro lugar, temos o consumo feito para a iluminação da casa com 525 kWh por ano consumidos, e, em último, o consumo feito para refrigeração a 320 kWh por ano. Esses dois itens de consumo da *Ekó House* são, portanto, iguais para todas as cidades avaliadas.

Ao aprofundar a análise dos consumos, é possível avaliar o comportamento da casa em duas cidades em zonas climáticas opostas do Brasil. A Figura 63 mostra a diferença de consumos da *Ekó House* entre a cidade de menor consumo anual, Curitiba (ZB1), e a cidade com o maior consumo anual, Teresina (ZB7). Como mostra a imagem, enquanto em Curitiba o consumo maior é causado pelo uso dos equipamentos, com 41%, na cidade de Teresina, 61% do consumo anual

total é feito para resfriar a casa, o que, em termos de kWh/ano, equivale ao menor consumo na cidade de Curitiba, de 2495 kWh/ano. Isso demonstra como realmente o que faz a diferença no consumo da *Ekó House* no Brasil é o consumo para resfriar o ambiente interno, a fim de manter a casa em uma situação de conforto térmico.

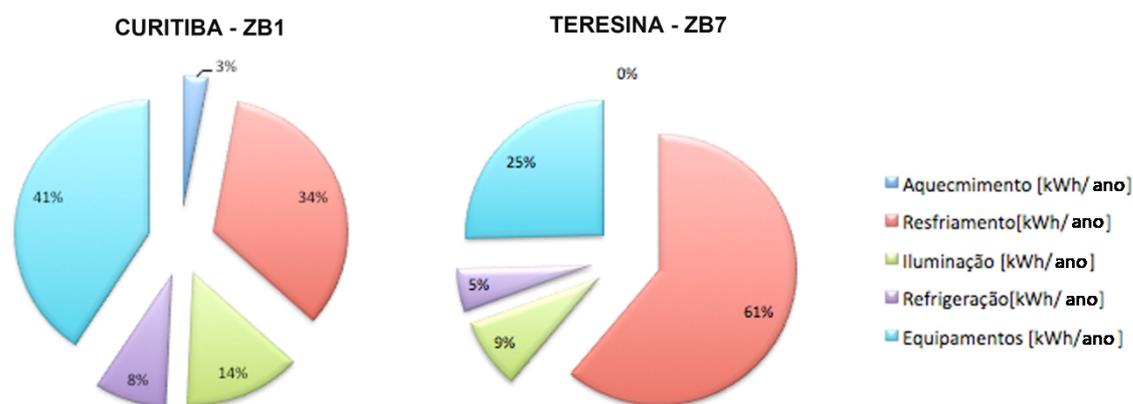
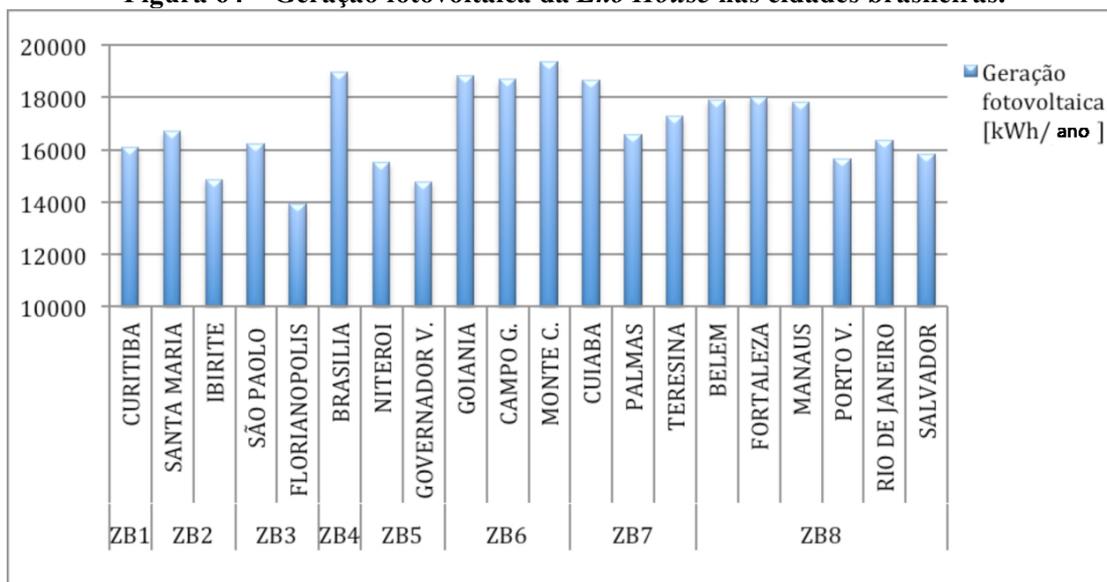


Figura 63 – Comparação dos consumos da *Ekó House* entre a cidade de Curitiba (ZB1) e Manaus (ZB8)

#### 4.2.2 Geração fotovoltaica

A *Ekó House* apresenta uma geração de energia fotovoltaica muito diferente entre as 20 cidades avaliadas. Como se pode perceber na Figura 64, essa não homogeneidade não tem relação alguma com o zoneamento bioclimático, visto que o que causa a diferente produção de energia do sistema fotovoltaico instalado na casa é a quantidade de radiação incidente no território brasileiro. Assim, as cidades nas quais a casa consegue obter a melhor geração de energia fotovoltaica são: Monte Claro (ZB6 – 19340 kWh/ano), Brasília (ZB4 – 18970 kWh/ano) e Goiânia (ZB6 – 18829 kWh/ano). Por outro lado, as cidades onde a *Ekó House* obteve o pior desempenho forem: Florianópolis (ZB3 – 13925 kWh/ano), Governador Valadares ZB5 – 14780 kWh/ano) e Ibirité (ZB2 – 14856 kWh/ano).

Figura 64 – Geração fotovoltaica da *Ekó House* nas cidades brasileiras.Tabela 27 – Variação do percentual de geração fotovoltaica da *Ekó House* no Brasil.

ZONA BIOCLIMÁTICA	CIDADE	% DE DIFERENÇA DE Geração Fotovoltaica Zona Bioclimática	% DE DIFERENÇA DE Geração Fotovoltaica Brasil
ZB1	CURITIBA	-	39
ZB2	SANTA MARIA	12,4	
	IBIRITE		
ZB3	SÃO PAULO	16,4	
	FLORIANOPOLIS		
ZB4	BRASILIA	-	
ZB5	NITEROI	4,9	
	GOVERNADOR VALADARES		
ZB6	GOIANIA	3,5	
	CAMPO GRANDE		
	MONTE CLAROS		
ZB7	CUIABÁ	12,6	
	PALMAS		
	TERESINA		
ZB8	BELÉM	15	
	FORTALEZA		
	MANAUS		
	PORTO VELHO		
	RIO DE JANEIRO		
	SALVADOR		

Como demonstra a Tabela 27, a diferença, em porcentagem, entre a cidade onde a geração fotovoltaica é maior e a cidade com o pior desempenho chega a ser de 39%. Ao mesmo tempo, existe também uma diferença entre cidades da mesma zona bioclimática, que chega a ser (nos casos piores) de até 15% nas zonas 3 e 8. Esse resultado demonstra como realmente a geração fotovoltaica deve ser considerada com um fator além dos confins do zoneamento bioclimático, pois isso influi de maneira considerável no balanço energético final da casa nas 20 cidades brasileiras.

#### 4.2.3 Produção de água quente: coletores solares

Para avaliar a eficiência e a economia de energia feita para o sistema de aquecimento de água quente para coletores solares na *Ekó House*, como abordado no capítulo da metodologia, os coletores solares foram comparados com um sistema de aquecimento de água feito para chuveiro elétrico de 5500 W de potência (sistema utilizado em 73% das casas brasileiras). O resultado foi que o uso dos coletores solares gera um economia de energia que chega a ser de mais de 1000 kWh/ano nas cidades mais frias (Curitiba – ZB1) e de pouco mais de 500 kWh/ano nas cidades mais quentes, nas zonas bioclimáticas 7 e 8 (Figura 65).

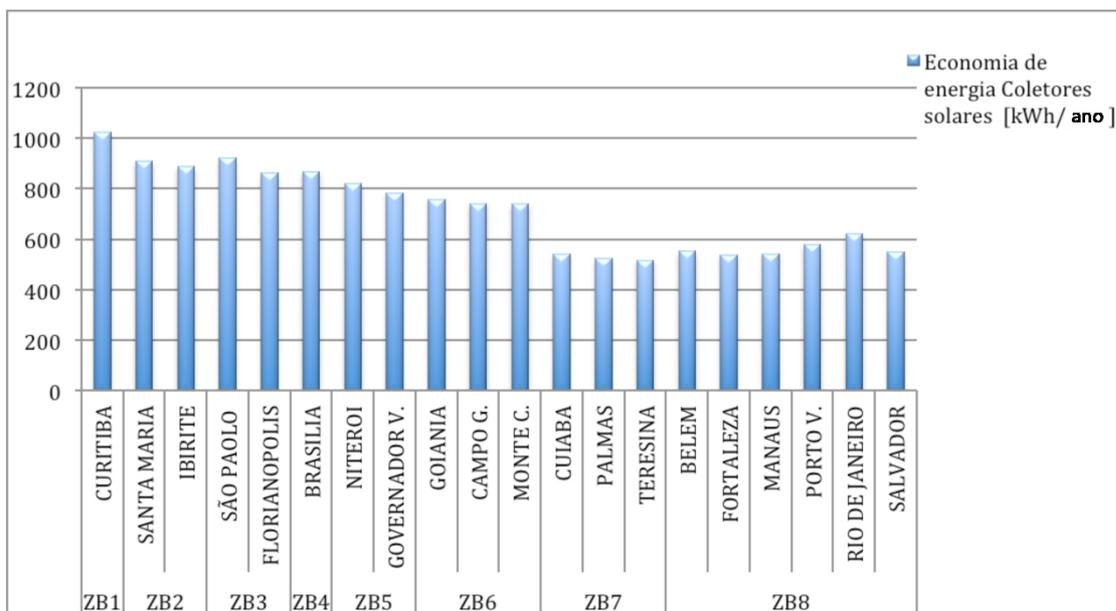


Figura 65 – Economia de energia: coletores solares da *Ekó House* nas cidades brasileiras.

Esses resultados demonstram como o uso de coletores solares podem gerar uma economia de até 25% no consumo anual da casa, nas

idades onde a temperatura média anual é menor. Essa economia de energia diminui nas zonas bioclimáticas mais quentes, onde a temperatura média anual é mais elevada e, conseqüentemente, a temperatura da água da rede que chega na casa é maior.

Dessa primeira análise dos resultados, por meio do estudo do balanço energético anual, pode-se concluir que a *Ekó House* é uma casa que foi projetada para enfrentar condições climáticas de grande frio. Sendo assim, cidades com invernos longos e frios, e verões breves e relativamente quentes são as condições ideais para o bom desempenho da casa. O sistema fotovoltaico assegura que a casa seja autossuficiente energeticamente em todas as cidades, com grande diferença de geração de energia entre as cidades avaliadas. Por fim, o sistema de coletores solares é um importante meio de economia de energia, sobretudo nas zonas bioclimáticas mais frias.

### 4.3 RTQ-R MÉTODO PRESCRITIVO

Uma vez analisada a casa, ao utilizar o método do balanço energético, o passo seguinte foi avaliar a casa no seu projeto original por meio do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Como já descrito na parte metodológica desta pesquisa, a *Ekó House* será avaliada em apenas uma cidade por zona bioclimática, pois o método prescritivo do RTQ-R não avalia de forma diferente cidades da mesma zona bioclimática. As cidades escolhidas foram as cidades usadas para criar as equações iniciais do RTQ-R (todas, menos a cidade de Niterói – ZB5)

O primeiro passo, então, foi reportar todos os dados relativos às características físicas da casa para a avaliação da envoltória.

#### 4.3.1 Envoltória

Como mostra a Tabela 28, o desempenho energético da envoltória da *Ekó House* nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras resulta em ser igual, obtendo como classificação final da envoltória (EqNumEnv) o nível C (com exceção para a Zona Bioclimática 8). Essa classificação deve-se ao fato de a casa não atender ao pré-requisito referente às paredes externas, o que faz com que a capacidade térmica fique abaixo do requerido. Assim, a capacidade térmica da envoltória

pare 112,75 kJ/m<sup>2</sup>K resulta em ser abaixo de quanto prevê o regulamento do RTQ-R. A única zona bioclimática onde a *Ekó House* atingiu o nível B da classificação energética da envoltória foi na ZB8, onde o pré-requisito das paredes externas não se aplica. Analisando mais em detalhe os resultados da envoltória, percebe-se como o desempenho nas diferentes zonas bioclimáticas, sem os pré-requisitos, seja muito diferente entre eles. Assim, a casa obteve um ótimo desempenho na ZB1, com o nível A na avaliação da envoltória de verão e de inverno, confirmando como a casa seja projetada para um clima mais frio demonstra também o bom desempenho da envoltória da casa na ZB2. A tendência da envoltória da casa é alcançar um pior desempenho nas zonas bioclimáticas mais quentes, onde o número de Graus Horas (GHR) supera a temperatura de conforto interno e cresce de forma exponencial. Desse modo, nas ZB6 e ZB7 a classificação energética da envoltória da casa obteve o nível C.

Tabela 28 – Avaliação da envoltória no método prescritivo RTQ-R.

METODO PRESCRITIVO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMATICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Governador V.	Campo Grande	Teresina	Fortaleza
Nível Envoltória Resfriamento - GHR [°C.h]	A 71	B 3990	C 1998	B 1133	B 7268	C 7170	C 20935	B 7268
Nível Envoltória Aquecimento - CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 15,94	A 10,95	B 11,50	B 8,80	-	-	-	-
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 1,40	A 2,60	B 8,40	A 1,50	A 20,90	A 10,30	A 29,30	A 20,90
<b>PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
Paredes externas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Cobertura	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Iluminação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ventilação Cruzada	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Banheiros com Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
EqNumEnvAmb <sub>Resf</sub>	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	B 4
EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	C 3	C 3	C 3	C 3	-	-	-	-
EqNumEnvAmb <sub>Refr</sub>	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	A 5
EqNumEnv	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	B 4

A avaliação da envoltória para refrigeração, mesmo sendo somente a título informativo, como explicado anteriormente, representa um resultado interessante, obtendo o nível A na maioria das zonas





Os resultados finais dessa metodologia usada para avaliar a eficiência energética da casa, infelizmente não ajudam a evidenciar qual é o real desempenho da *Ekó House* no Brasil. O passo seguinte, por essa razão, é avaliar a casa por meio do método de simulação do RTQ-R, a fim de verificar o real desempenho da casa nos climas brasileiros.

#### 4.4 RTQ-R MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Avaliada a casa por meio do método prescritivo do RTQ-R, o passo seguinte foi avaliar a *Ekó House* com o método de simulação do RTQ-R. Como mencionado no capítulo da metodologia, nesse método, o desempenho da envoltória da *Ekó House* é determinado por meio de simulação computacional, onde se modela a geometria da edificação a ser avaliada, de acordo com os parâmetros especificados pelo RTQ-R.

A zona bioclimática 5, por sua vez, não será avaliada pelo método de simulação do RTQ-R, pois, quando foram desenvolvidas as equações úteis para gerar os equivalentes numéricos para a ZB5, não estavam presentes os arquivos climáticos das cidades naquela zona bioclimática, e, por isso, os valores dos equivalentes numéricos da ZB5 são os mesmos da ZB8. As cidades onde a casa é avaliada são as mesmas analisadas no método prescritivo do RTQ-R.

##### 4.4.1 Envoltória

Como mostra a Tabela 33, o desempenho energético da envoltória da *Ekó House* nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras obtém uma ótima classificação final em quase todas as zonas, alcançando como classificação final da envoltória (EqNumEnv) o nível B, com exceção para as ZB6 e ZB7, onde o nível da envoltória caiu para C. Isso demonstra como realmente o pré-requisito da envoltória penaliza a avaliação final da casa com o método prescritivo do RTQ-R, coisa que não acontece com o método de simulação. Além disso, no método de simulação, os únicos pré-requisitos avaliados são os de iluminação e ventilação natural. Analisando os resultados mais no detalhe, percebe-se como a casa, mesmo sendo projetada para condições de frio, não obteve o nível A na classificação da envoltória para inverno nas ZB1, ZB2 e ZB3. A explicação desse resultado é que, mesmo tendo um grande isolamento térmico, a casa é simulada como único grande ambiente, e, por esse motivo, o volume total para aquecer a casa é maior, provocando um consumo em kWh por ano, o que não permite a obtenção do nível A

na envoltória para inverno. Por outro lado, a *Ekó House* não obteve um bom desempenho na envoltória de verão nas zonas bioclimáticas 6 e 7. Os números de Graus Horas, que durante o ano inteiro ficam acima da temperatura de conforto, são muito elevados para a cidade avaliada, tendo como resultado final o nível C da envoltória (EqNumEnv). A avaliação da envoltória refrigerada artificialmente obteve o nível A e B nas zonas bioclimáticas avaliadas. Isso demonstra como, também nas zonas bioclimáticas mais quentes, a casa tem um bom desempenho se refrigerada artificialmente.

Por fim, sobre a análise da envoltória por meio do método de simulação, podemos afirmar que a casa obteve um desempenho bom, mas não excelente (Nível A) nas maiorias das zonas bioclimáticas avaliadas, com exceção para a ZB6 e ZB7, onde o desempenho da envoltória não foi adequado.

Tabela 33 – Avaliação da envoltória da *Ekó House* pelo método de simulação do RTQ-R.

METODO SIMULAÇÃO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Teresina	Fortaleza
Nível Envoltória Resfriamento - GHR [°C.h]	A 141	A 2166	B 1590	B 798	- -	C 6625	C 22438	B 9687
Nível Envoltória Aquecimento - CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 33	B 17.82	B 7.05	A 2.16	- -	- -	- -	- -
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 0.57	B 7.08	B 6.25	A 2.2	- -	B 15.9	B 31.74	A 19.46
<b>PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
Iluminação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim	Sim	Sim
EqNumEnvAmb <sub>Resf</sub>	A 5	A 5	B 4	B 4	- -	C 3	C 3	B 4
EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	B 4	B 4	B 4	A 5	- -	- -	- -	- -
EqNumEnvAmb <sub>Refr</sub>	A 5	B 4	B 4	A 5	- -	B 4	B 4	A 5
EqNumEnv	B 4.08	B 4.44	B 4	B 4.32	- -	C 3	C 3	B 4

#### 4.4.2 Aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água foi avaliado usando a mesma metodologia do método prescritivo do RTQ-R. Por isso, o resultado final será o mesmo obtido no precedente método. Assim, em todas as cidades, a fração solar foi superior a 70%, o que equivale a uma classificação de nível A (Tabela 34).

Tabela 34 – Avaliação do sistema de aquecimento de água pelo método RTQ-R.

METODO SIMULAÇÃO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMATICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
EqNumAA	A	A	A	A	-	A	A	A
	5	5	5	5	-	5	5	5

#### 4.4.3 Bonificações

Da mesma forma, também a pontuação das bonificações resultou ser a mesma que na avaliação da casa no RTQ-R com o método prescritivo. As bonificações presentes na casa foram somadas à pontuação total. Entre as 8 bonificações presente no RTQ-R, a casa obteve:

- 0,3 pontos para bonificação de iluminação natural;
- 0,2 pontos para profundidade;
- 0,1 ponto para refletância do teto; e
- 0,1 ponto para a presença de uso de refrigerador com ENCE A.

A pontuação total das bonificações presentes na casa, então, equivale a 0,4 pontos em todas as zonas bioclimáticas avaliadas (Tabela 35).

Tabela 35 – Bonificações da *Ekó House* no RTQ-R.

METODO SIMULAÇÃO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMATICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
Bonificações	0.4	0.4	0.4	0.4	-	0.4	0.4	0.4

#### 4.4.4 Classificação final da *Ekó House*

Como mostra a Tabela 36, a *Ekó House* alcançou um ótima classificação final, obtendo o nível A nas ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4, e uma boa classificação final, obtendo o nível B na ZB6, ZB7 e ZB8. Em geral, a casa obteve a pontuação melhor na cidade de Santa Maria (ZB2), alcançando a pontuação máxima. Na classificação final, o que permitiu alcançar esse bom desempenho da casa em todas as zonas bioclimáticas brasileiras foi a ótima avaliação do sistema de aquecimento da água

quente, que elevou a pontuação final. Isso é mais evidente nas ZB6 e ZB7, onde o nível da envoltória foi pior. Porém, na ZB8, onde a classificação energética da envoltória obteve o nível B e o nível A no sistema de aquecimento de água, a classificação final não chegou ao nível A. Isso pode ser explicado porque, nas zonas bioclimáticas mais quentes, o peso na equação final da classificação energética do sistema de aquecimento de água é menor.

**Tabela 36– Classificação energética final da *Ekó House*: método prescritivo no RTQ-R.**

METODO SIMULAÇÃO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Cuiabá	Salvador
<i>EqNumEnv</i>	B	B	B	B	-	C	C	B
	4.08	4.44	4	4.32	-	3	3	4
<i>EqNumAA</i>	A	A	A	A	-	A	A	A
	5	5	5	5	-	5	5	5
<i>Bonificações</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	-	0.4	0.4	0.4
<i>PT HU</i>	A	A	A	A	-	B	B	B
	4.80	5.04	4.75	4.96	-	4.1	4.1	4.45

#### 4.5 CONCLUSÕES E RESULTADOS DA *EKÓ HOUSE*: PROJETO ORIGINAL

Da análise dos primeiros resultados da *Ekó House* no seu projeto original, por meio das três diferentes metodologias aplicadas, podemos chegar a alguma conclusão útil para as futuras alterações da casa, com a finalidade de adaptar o projeto às condições climáticas brasileiras.

Dos resultados das três diferentes metodologias aplicadas, podemos afirmar que a casa tem um desempenho melhor, em termos de consumo e de eficiência energética, nas zonas bioclimáticas mais frias, em particular, nas cidades da ZB1 e ZB2. A *Ekó House*, por outro lado, apresenta um desempenho energético pior nas zonas bioclimáticas mais quentes e, em particular, nas ZB6 e ZB7. Mesmo assim, a casa tem um balanço energético positivo em todas as cidades brasileiras avaliadas, pois, por meio do sistema fotovoltaico instalado na cobertura, a casa se torna autossuficiente energeticamente. É interessante ressaltar, no entanto, que esse aspecto não é avaliado no regulamento RTQ-R nas duas diferentes metodologias, onde o sistema fotovoltaico não entra de nenhuma forma na avaliação final. Com certeza, esse aspecto, de qualquer forma, penaliza a avaliação final de uma casa que foi projetada para uma competição onde a importância dos sistemas solares é

fundamental. De outro lado, percebe-se a grande importância dos coletores solares alojados na casa nas três metodologias usadas. Tanto na avaliação da casa por meio do balanço energético, quanto na avaliação com as duas metodologias do RTQ-R, é evidente como os coletores solares permitem uma grande economia de energia, melhorando a eficiência final da casa, ainda mais no Brasil, onde o sistema de aquecimento de água é uma das causas principais de consumo em edificações residenciais.

Essa primeira análise dos resultados confirmou como a competição do *Solar Decathlon* é focada na produção de energia elétrica por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos, que produzem muito mais do que a necessidades da casa. Por outro lado, o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais (RTQ-R), dá maior importância ao uso de sistemas de aquecimento de água altamente eficientes, que são os coletores solares. Os resultados obtidos mostraram, também, que a casa obteve bom desempenho em qualquer clima com a utilização de sistemas de ar condicionado. Isso porque o projeto foi concebido baseado no funcionamento da casa com um sistema de refrigeração.

Com essa primeira análise, conclui-se que a casa, por ter sido projetada para Madri, se adapta de forma melhor no Brasil em condições de clima mais frio. Por meio de alguma mudança projetual, será possível obter um desempenho energético melhor, principalmente nas cidades brasileiras nas zonas bioclimáticas mais quentes (ZB6 e ZB7). O passo sucessivo será encontrar para cada zona bioclimática as alterações mais adaptadas com esses três caminhos: entrevistas com os membros da equipe, análise das normas brasileiras e avaliações bioclimáticas de cada cidade.

#### 4.6. ALTERAÇÕES NO PROJETO ORIGINAL

As alterações projetuais, que são encontradas neste capítulo, são o fruto da interação dos dados obtidos por meio três diferentes fontes: entrevistas a três membros da equipe *Team Brasil*, consultas às normas brasileiras em matéria de eficiência energética e avaliações bioclimáticas das 20 cidades brasileiras escolhidas.

Os três parâmetros usados para esta avaliação permitem avaliar de forma gradual as melhores alterações no projeto da casa, ou seja, da

uma análise mais geral, por meio das entrevistas que deram uma ideia compreensiva sobre o que poderia ser alterado ou não da *Ekó House*, a uma análise pontual feita por cada cidade avaliada, com o estudo bioclimático. Assim, percebe-se como os três parâmetros analisam as alterações da *Ekó House* de forma diferente:

a) Entrevistas: alterações da casa para o Brasil todo, não tendo indicações regionais para melhorar a eficiência energética da casa, mas só recomendações e indicações gerais (ANEXO 1).

b) Normas brasileiras: alterações por zona bioclimática, enquanto as normas em matéria de eficiência energética regulamentam por zoneamento bioclimático.

c) Análise bioclimática: realizada para todas as cidades brasileiras avaliadas por meio do programa *Climate Consultant*, que analisa os dados climáticos anuais das cidades.

O primeiro passo, então, foi analisar as entrevistas feitas com três membros da equipe *Team Brasil*, que participaram da projeção da casa (ANEXO 1). O objetivo das entrevistas realizadas é ter uma contribuição ativa da parte dos membros da equipe afim de entender melhor o projeto e as possíveis alterações que poderão ser realizadas na casa, sem alterar o conceito inicial da *Ekó House*. Analisando as entrevista, percebe-se como os três membros chegam na mesma conclusão, indicando nas varandas, nos elementos de sombreamento e na cozinha os elementos caracterizantes do projeto da casa. Por outro lado, a ineficiência do sistema de condicionamento de ar e um uso melhor da ventilação natural são elementos que poderão melhorar sensivelmente a eficiência energética da casa no Brasil.

Como já foi discutido, as entrevistas não permitiram entrar muito no detalhe das alterações da casa nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Por isso, o passo seguinte foi encontrar indicações úteis para as alterações projetuais da *Ekó House*, por meio das normas brasileiras, em matéria de eficiência energética. Para fazer isso, foram avaliadas, como mencionado no capítulo da metodologia, a NBR 15575, a NBR 15520 e o Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), em matéria de desempenho térmico, a NBR 15569, que estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento e a NBR 10899, que define os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante solar em energia elétrica.

Com a análise das normas brasileiras, foram obtidas importantes indicações projetuais para cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras – das indicações das tipologias de paredes ao tamanho das janelas, aos elementos de sombreamento, à inclinação dos painéis fotovoltaicos e dos coletores solares.

Para concluir a análise e escolher as alterações projetuais mais adequadas para cada cidade onde foi avaliada a casa *Ekó House*, foi feita uma avaliação bioclimática por cidade por meio do programa *Climate Consultant*. Dessa forma, poderão ser avaliadas estratégias projetuais diferentes para cada cidade. Com isso, a avaliação permitiu diferenciar as estratégias projetuais em estratégias para verão e inverno, tendo indicações áteis para as diferente condições climáticas do ano.

A Tabela 37, a seguir, apresenta os resultados dos três parâmetros usados para encontrar as alterações projetuais mais adaptadas para cada cidade avaliada. Por meio de uma análise aprofundada, foram encontradas as alterações de projeto para cada cidade brasileira. Essas alterações, reportadas na Tabela 30, identificam as melhores características projetuais para alcançar a melhor eficiência energética da casa no Brasil. Para cada cidade brasileiras onde é avaliada a *Ekó House*, foram propostas mudanças de projeto que não alterassem o conceito inicial da casa, mantendo os elementos caracterizantes do projeto inteiro. Assim, houve:

- redefinição das camadas que compõem as paredes externas, as coberturas e o piso, de acordo com a cidade (ANEXO 2);
- redefinição dos tipos de vidro das aberturas (ANEXO 3);
- redefinição da área das aberturas externas;
- redefinição da inclinação do telhado para melhorar a eficiência energética dos módulos fotovoltaicos; e
- otimização da ventilação natural, aumentando ou diminuindo as aberturas.

Encontradas as alterações projetuais para cada cidade avaliada, será possível verificar se essas mudanças de projeto realmente resultarão em um melhor desempenho energético da casa no Brasil.

Tabela 37 – Estudo das alterações projetuais da *Ekó House*.

Zona Bioclimática	Cidade	ENTREVISTA	NORMAS BRASILEIRAS	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA (Climate Consultant)	ALTERAÇÕES FINAIS PROJETUAIS
ZB1	CURITIBA	1- BAMBUA VARANDA E A COZINHA SÃO ELEMENTOS CARACTERIZANTES O PROJETO DA CASA. ELEMENTOS PARA SER MANTIDO.	1- Paredes leves. 2- Aberturas médias. 3- Elementos de sombreamento nas aberturas. 4- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 5- Isolamento janelas. 6- Casa em contato com o solo. 7- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor interno equipamento. 2- Ganho de calor solar passivo. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas abertura. 2- Uso de ventilação natural o artificial.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 0,45 W/m²K. (Tipologia 2) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m²K. (Tipologia 2) 5- Um ventilador de teto no quarto. 6- Inclinação painéis e Coletores 25°.
		2- A PERSIANA E OS ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO NA VARANDA. IMPORTANTES RECURSOS PARA CONTROLE CLIMÁTICO.	1- Paredes leves. 2- Aberturas médias. 3- Elementos de sombreamento nas aberturas. 4- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 5- Isolamento janelas. 6- Casa em contato com o solo. 7- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor interno equipamento. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas abertura. 2- Uso de ventilação natural o artificial.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 0,85 W/m²K. (Tipologia 3) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m²K. (Tipologia 2) 5- Um ventilador de teto no quarto. 6- Inclinação painéis e Coletores 29°.
ZB2	IBIRITE	3- MELHORAAS ESTRATÉGIAS PASSIVAS DA CASA PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS. POR EXEMPLO VENTILAÇÃO CRUZADA COM A MODIFICAÇÕES DAS ABERTURAS	1- Paredes leves. 2- Aberturas médias. 3- Elementos de sombreamento nas aberturas. 4- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 5- Isolamento janelas. 6- Casa em contato com o solo. 7- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor interno equipamentos- pessoas. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas abertura. 2- Uso de ventilação natural o artificial.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 0,85 W/m²K. (Tipologia 3) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m²K. (Tipologia 2) 5- Um ventilador de teto no quarto. 6- Inclinação painéis e Coletores 20°.
		4- EXCESSIVO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA. E SUPERDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HVAC.	1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor solar passivo VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas abertura. 2- Paredes leves 3- Ventilação cruzada.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 0,95 W/m²K. (Tipologia 4) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m²K. (Tipologia 2) 5- Um ventilador de teto no quarto. 6- Inclinação painéis e Coletores 23°.
ZB3	SÃO PAULO	5- USO DE MATÉRIAS LOCAIS.	1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor solar passivo. 2- Deumidificação. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas abertura. 2- Deumidificação. 3- Ventilação natural.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 0,95 W/m²K. (Tipologia 4) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m²K. (Tipologia 2) 5- Um ventilador de teto no quarto. 6- Inclinação painéis e Coletores 27°.

Zona Bioclimática	Cidade	ENTREVISTA	NORMAS BRASILEIRAS	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA (Climate Consultant)	ALTERAÇÕES FINAIS PROJETUAIS
ZB4	BRASILIA		1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares $10^\circ >$ latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor solar passivo. 2- Massa térmica. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial. 3- Minimizar as aberturas oeste.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,07 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 5) 4- Vidro duplo-câmara de ar U: 1,4 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 2) 5- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala.
	NITEROI	1- BAMBUI A VARANDA E A COZINHA SÃO ELEMENTOS CARATERIZANTE O PROJETO DA CASA. ELEMENTOS PARA SER MANTIDO. 2- A PERSIANA E OS ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO NA VARANDA, IMPORTANTES RECURSOS PARA CONTROLE CLIMÁTICO. 3- MELHORA AS ESTRATÉGIAS PASSIVAS DA CASA PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS. POR EXEMPLO VENTILAÇÃO CRUZADA COM A MODIFICAÇÕES DAS ABERTURAS 4- EXCESSIVO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA, E SUPERDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HVAC. 5- USO DE MATÉRIAS LOCAIS.	1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares $10^\circ >$ latitude da cidade.	INVERNO- 1- Ganho de calor solar nos meses mais frios. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,46 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 6) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmara de ar U: 2,7 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 22°.
ZB5	GOVERNADOR PALADARES		1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares $10^\circ >$ latitude da cidade.	INVERNO- 1- Massa térmica das paredes para o inverno. VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,46 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 6) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmara de ar U: 2,7 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 18°.
	GOIANIA		1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares $10^\circ >$ latitude da cidade.	VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,78 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 7) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmara de ar U: 2,7 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 17°.
ZB6	CAMPO GRANDE		1- Aberturas médias. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares $10^\circ >$ latitude da cidade.	VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,78 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 7) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmara de ar U: 2,7 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 20°.
	MONTE CLAROS		1- Elementos de sombreamento nas aberturas 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 1,78 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 7) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmara de ar U: 2,7 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 17°.	

Zona Bioclimática	Cidade	ENTREVISTA	NORMAS BRASILEIRAS	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA (Climate Consultant)	ALTERAÇÕES FINAIS PROJETUAIS
ZB7	CUIABÁ	1- BAMBUA VARANDA E A COZINHA SÃO ELEMENTOS CARATERIZANTE O PROJETO DA CASA. ELEMENTOS PARA SER MANTIDO.	1- Aberturas pequenas. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas. 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absorbtancia. 5- Paredes leves.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 3,09 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 8) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro simples U:5,8 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 4) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Janelas norte e oeste menores do 50 %.
	PALMAS	2- A PERSIANA E OS ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO NA VARANDA, IMPORTANTES RECURSOS PARA CONTROLE CLIMÁTICO. 3- MELHORAAS ESTRATÉGIAS PASSIVAS DA CASA PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS. POR EXEMPLO VENTILAÇÃO CRUZADA COM A MODIFICAÇÕES DAS ABERTURAS		VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas. 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absorbtancia. 5- Paredes leves.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U: 3,09 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 8) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro simples U:5,8 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 4) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 10°. 8- Janelas norte e oeste menores do 50 %.
	TERESINA			VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas. 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absorbtancia. 5- Paredes leves.	1- Casa em contato com o solo. 2- Parede e cobertura mudada U: 3,09 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 8) 3- Paredes externas cor clara. 4- Vidro simples U:5,8 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 4) 5- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 6- Inclinação painéis e Coletores 5°. 7- Janelas norte e oeste menores do 50 %.
ZB8	BELEM	4- EXCESSIVO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTORIA, E SUPERDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HVAC. 5- USO DE MATÉRIAS LOCAIS.	1- Aberturas grandes. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas. 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absorbtancia.	1- Casa em contato com o solo. 2- Parede e cobertura mudada U:2,26 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 9) 3- Paredes externas cor clara. 4- Vidro simples U:5,8 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 4) 5- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 6- Inclinação painéis e Coletores 1°. 7- Janelas sul maiores do 50 %.
	FORTALEZA			VERÃO- 1- Elementos de sombreamento nas aberturas. 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absorbtancia.	1- Casa em contato com o solo. 2- Parede e cobertura mudada U:2,26 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 9) 3- Paredes externas cor clara. 4- Vidro simples U:5,8 W/m <sup>2</sup> K. (Tipologia 4) 5- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 6- Inclinação painéis e Coletores 3°. 7- Janelas sul maiores do 50 %.

Zona Biolimática	Cidade	ENTREVISTA	NORMAS BRASILEIRAS	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA (Climate Consultant)	ALTERAÇÕES FINAIS PROJETUAIS
ZB8	MANAUS	1- BAMBU A VARANDA E A COZINHA SÃO ELEMENTOS CARATERIZANTE O PROJETO DA CASA. ELEMENTOS PARA SER MANTIDO.  2- A PERSIANA E OS ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO NA VARANDA, IMPORTANTES RECURSOS PARA CONTROLE CLIMÁTICO.  3- MELHORA AS ESTRATÉGIAS PASSIVAS DA CASA PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS. POR EXEMPLO VENTILAÇÃO CRUZADA COM A MODIFICAÇÕES DAS ABERTURAS  4- EXCESSIVO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA, E SUPERDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HVAC.  5- USO DE MATÉRIAS LOCAIS.	1- Aberturas grandes. 2- Elementos de sombreamento nas aberturas. 3- Inclinação Painéis fotovoltaicos = latitude da cidade. 4- Casa em contato com o solo. 5- Inclinação Coletores solares 10° > latitude da cidade.	VERÃO- 1-Elementos de sombreamento nas abertura 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absortancia.	1- Casa em contato com o solo. 2- Parede e cobertura mudada U: 2,26 W/m²K.(Tipologia 9) 3- Paredes externas cor clara. 4- Vidro simples U:5,8 W/m²K.(Tipologia 4) 5- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 6- Inclinação painéis e Coletores 3°. 7- Janelas sul maiores do 50 %.
	PORTO VELHO			VERÃO- 1-Elementos de sombreamento nas abertura 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absortancia.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U:2,26W/m2K.(Tipologia 9) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro simples U:5,8 W/m²K.(Tipologia 4) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 9°. 8- Janelas sul maiores do 50 %.
	RIO DE JANEIRO			VERÃO- 1-Elementos de sombreamento nas abertura 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absortancia.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U:1,46 W/m2K.(Tipologia 6) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro duplo-câmera de ar U:2,7 W/m2K.(Tipologia 3) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 22°.
	SALVADOR			VERÃO- 1-Elementos de sombreamento nas abertura 2- Ventilação natural o artificial o efeito chamine. 3- Deumidificação. 4- Telhado baixa absortancia.	1- Casa Espelhada-quarto para leste. 2- Casa em contato com o solo. 3- Parede e cobertura mudada U:2,26 W/m2K.(Tipologia 9) 4- Paredes externas cor clara. 5- Vidro simples U:5,8 W/m²K.(Tipologia 4) 6- Dois ventiladores de teto no quarto e na sala. 7- Inclinação painéis e Coletores 13°. 8- Janelas sul maiores do 50 %.

#### 4.7 RESULTADOS DA *EKÓ HOUSE* COM ALTERAÇÕES NO PROJETO ORIGINAL

Para verificar se as alterações projetuais encontradas permitirão melhorar a eficiência energética da *Ekó House* foi avaliada por meio das mesmas três metodologias com as quais fora avaliada anteriormente. Primeiramente, serão analisados os resultados obtidos por meio do balanço energético da casa.

A *Ekó House*, como já foi discutido na metodologia, nessa fase da pesquisa, é avaliada nas 20 cidades brasileiras escolhidas, na orientação que obteve o melhor desempenho, na precedente avaliação com o método do balanço energético. No método prescritivo e de simulação do RTQ-R, a casa foi avaliada nas mesmas 8 cidades avaliadas anteriormente.

#### 4.8 MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO

O balanço energético analisa os consumos anuais da casa atinentes ao uso diário de dois moradores e à produção de energia elétrica por meio do sistema fotovoltaico.

O primeiro resultado para ser avaliado é a comparação do balanço energético da casa em Madri e das diferentes cidades brasileiras. Como mostra a Tabela 38, o número de cidades que apresentam um balanço energético parecido, se não melhor, com a cidade de Madri, aumentaram drasticamente. A *Ekó House* nas cidades de Brasília, Goiânia e Montes Claros apresentou um balanço energético anual melhor que na cidade da competição. Os consumos da casa demonstram que só nas zonas bioclimáticas 7 e 8 os consumos são maiores que na cidade de Madri. Isso é devido, principalmente, ao grande consumo de energia elétrica para manter o conforto interno da habitação.

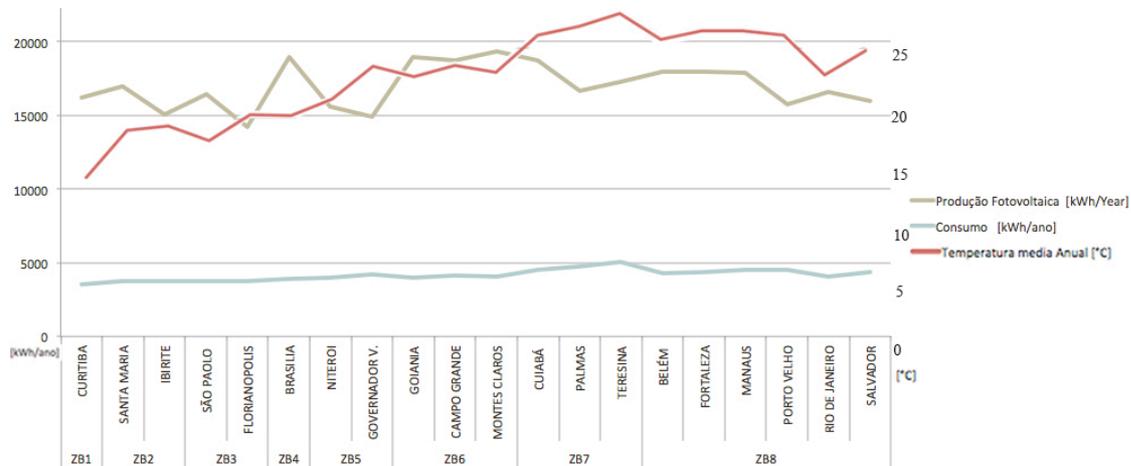
Outro elemento interessante para se analisar é que, também com as alterações bioclimáticas, o balanço energético da casa nas diferentes cidades brasileiras tem um comportamento muito diferente em cada uma. Entre a cidade que obteve o melhor desempenho, Montes Claros (ZB6), e a cidade com o pior desempenho, Florianópolis (ZB3), a diferença no balanço energético final chega a ser de quase 5000 kWh por ano. O balanço energético mostra, dessa forma, que a casa tem um desempenho muito diferente entre as diferentes cidades do Brasil e, ao mesmo tempo, entre as cidades da mesma zona bioclimática. Em geral,

as cidades que obtiveram o melhor desempenho foram as cidades de Brasília e Montes Claros, respectivamente, zonas bioclimáticas 4 e 7, as cidades onde se obteve a geração fotovoltaica maior. Por outro lado, as cidades que obtiveram o desempenho pior foram Florianópolis, Governador Valadares, Ibirite e Porto velho, principalmente por causa da baixa geração fotovoltaica (a *Ekó House* em Florianópolis tem a menor geração fotovoltaica entre as cidades avaliadas).

**Tabela 38 – Balanço energético da *Ekó House* no Brasil: projeto com alterações.**

Zona Bioclimática	Cidades	Consumo [kWh/ano]	Produção Fotovoltaica [kWh/ano]	Balanço Energético [kWh/ano]
	MADRI	4107	18720	14613
ZB1	CURITIBA	3530	16220	12690
ZB2	SANTA MARIA	3775	16950	13175
	IBIRITE	3770	15035	11265
ZB3	SÃO PAULO	3617	16435	12818
	FLORIANOPOLIS	3792	14220	10428
ZB4	BRASILIA	3893	18970	15077
ZB5	NITEROI	3971	15620	11649
	GOVERNADOR V.	4182	14876	10694
ZB6	GOIANIA	3983	18930	14947
	CAMPO GRANDE	4106	18720	14614
	MONTES CLAROS	4026	19352	15326
ZB7	CUIABÁ	4510	18732	14222
	PALMAS	4715	16680	11965
	TERESINA	5088	17298	12210
ZB8	BELÉM	4276	17990	13714
	FORTALEZA	4396	18176	13780
	MANAUS	4512	17890	13378
	PORTO VELHO	4539	15720	11181
	RIO DE JANEIRO	4083	16570	12487
	SALVADOR	4370	15980	11610

Observando a Figura 66, a seguir, percebe-se como o consumo da casa tende a crescer razoavelmente, passando da zona bioclimática 1 para a zona bioclimática 8. Verifica-se, com isso, como o consumo da *Ekó House* nas cidades da zona bioclimática 7 é maior que em todas as outras cidade avaliadas. Verifica-se que, também com o projeto da casa modificado para as diferentes cidades, o consumo da *Ekó House* é diretamente ligado com a temperatura média anual de cada cidade.



**Figura 66 – Consumo-Geração anual da *Ekó House*: projeto com alterações nas cidades brasileiras.**

Como discutido anteriormente, essa tendência, observada nos consumos, não tem uma correspondência na geração fotovoltaica, onde existe uma grande diferença, também, entre cidades da mesma zona bioclimática.

#### 4.8.1 Consumo

O consumo da *Ekó House* com as alterações projetuais passou por importantes mudanças. A diferença de consumo da casa entre a cidade de menor consumo, Curitiba (ZB1), e a cidade de maior consumo, Teresina (ZB7), ficou um pouco superior a 1500 kWh por ano.

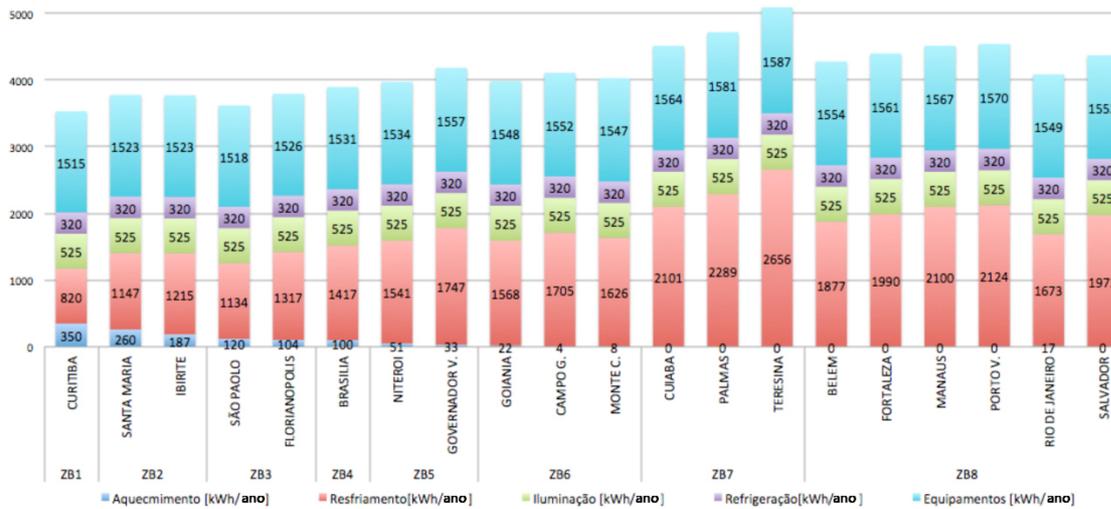
Além disso, a diferença de consumo da casa entre cidades da mesma zona bioclimática diminuiu. Na Tabela 39, por exemplo, são reportadas as diferenças de consumo entre cidades da mesma zona bioclimática. Tais diferenças demonstram que, na mesma zona bioclimática, as variações de consumo da casa podem superar a marca de 10%, como no caso da ZB7 e ZB8.

Essa diferença entre os consumos da casa na maioria das cidades brasileiras é devida, principalmente, ao uso do sistema de condicionamento da *Ekó House*, a fim de manter a temperatura de conforto interna.

Tabela 39 – Variação percentual de consumo: com alterações de projeto.

ZONA BIOCLIMÁTICA	CIDADE	% DE DIFERENÇA DE CONSUMO Zona Bioclimática	% DE DIFERENÇA DE CONSUMO Brasil
ZB1	CURITIBA	-	44
ZB2	SANTA MARIA	0,13	
	IBIRITE		
ZB3	SÃO PAULO	2	
	FLORIANOPOLIS		
ZB4	BRASILIA	-	
ZB5	NITEROI	5,3	
	GOVERNADOR VALADARES		
ZB6	GOIANIA	3,1	
	CAMPO GRANDE		
	MONTES CLAROS		
ZB7	CUIABÁ	12,7	
	PALMAS		
	TERESINA		
ZB8	BELÉM	10,5	
	FORTALEZA		
	MANAUS		
	PORTO VELHO		
	RIO DE JANEIRO		
	SALVADOR		

A Figura 67 demonstra como, nas cidades até a zona bioclimática 4, o consumo maior é devido ao uso dos equipamentos da casa. O sistema de condicionamento de ar, para resfriar e aquecer o ambiente interno, é a segunda origem de consumo da casa. Percebe-se, com isso, como o consumo de aquecimento da casa chega a atingir 10% do consumo total na cidade de Curitiba, devido às condições climáticas da cidade. Por outro lado, nas cidades das zona bioclimáticas 6, 7 e 8, o consumo principal é causado para resfriar a casa e manter o ambiente interno na situação de conforto.



**Figura 67 – Consumo anual por equipamentos na *Ekó House*: projeto com alterações nas cidades brasileiras.**

As outras causas de consumo são o consumo para a iluminação da casa com 525 kWh por ano, que incide em 25% do consumo total na situação pior (Curitiba) e em 10% do consumo final na cidade de Teresina. Por último, o consumo feito para refrigeração a 320 kWh por ano incide em uma porcentagem inferior a 10% em todas as cidades brasileiras. Esse dois itens de consumo da *Ekó House*, por sua vez, são iguais em todas as cidades avaliadas.

Entrando mais no detalhe da análise dos consumos, analisa-se o comportamento da casa em duas cidades onde o comportamento no consumo da casa resulta ser muito diferente. A Figura 68, por exemplo, mostra a diferença de consumos da *Ekó House* com a cidade de menor consumo anual, Curitiba (ZB1), e a cidade com o maior consumo anual, Teresina (ZB7). Como mostra a imagem, enquanto em Curitiba o consumo maior é causado pelo uso dos equipamentos, com 43%, na cidade de Teresina, 52% do consumo anual total é feito para resfriar a casa. Isso, em termo de kWh/ano, equivale a um menor consumo na cidade de Curitiba, de 1558 kWh/ano. Dessa forma, em termos de consumo anual, a diferença de clima entre as duas cidades provoca essa discrepância de comportamento da *Ekó House*.

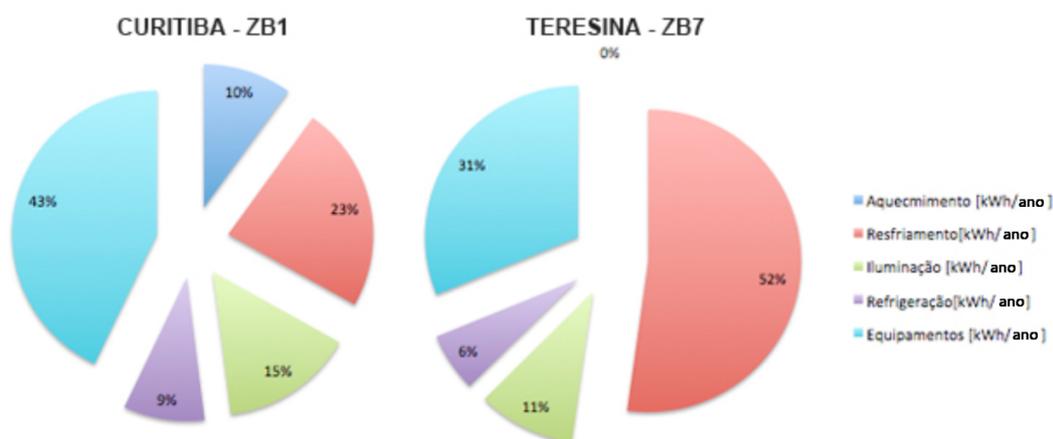


Figura 68 – Consumo anual da *Ekó House*: projeto com alterações nas cidades de Curitiba e Teresina.

#### 4.8.2 Geração fotovoltaica

A alteração da casa, em relação ao sistema fotovoltaico, foi feita a modificação do ângulo de inclinação do telhado, a fim de favorecer a melhor produção de energia da *Ekó House*. Mesmo assim, os resultados demonstraram como as alterações não mudaram significativamente a geração de energia fotovoltaica nas 20 cidades brasileiras (Figura 69). A geração fotovoltaica da *Ekó House*, dessa forma, é muito diferente entre as diferentes cidades avaliadas. Assim, as cidades nas quais a casa consegue obter a melhor geração de energia fotovoltaica são: Monte Claro (ZB6 – 19352 kWh/ano), Brasília (ZB4 – 18970 kWh/ano) e Goiânia (ZB6 – 18930 kWh/ano). Por outro lado, as cidades onde a *Ekó House* obteve o pior desempenho foram: Florianópolis (ZB3 – 14220 kWh/ano), Governador Valadares (ZB5 – 14875 kWh/ano) e Ibitité (ZB2 – 15035 kWh/ano). A diferença de geração de energia fotovoltaica da casa, entre a cidade com o melhor desempenho, Montes Claros (ZB6) e a cidade com o pior desempenho, Florianópolis (ZB3), é de 5132 kWh por ano. Como demonstra a Tabela 40, a diferença, em porcentagem, entre a cidade onde a geração fotovoltaica é maior e a cidade com o pior desempenho chega a ser de 36%. Ao mesmo tempo, existe também uma diferença entre cidades da mesma zona bioclimática, que chega a ser (nos casos piores) de até 15% nas zonas B3 e B8. Esse resultado demonstra como a geração fotovoltaica deve ser considerada como um fator que não tem relação com o zoneamento bioclimático. Isso influencia de maneira considerável no balanço energético final da casa nas 20 cidades brasileiras, assim como nas mudanças projetuais propostas para o seu melhor desempenho.

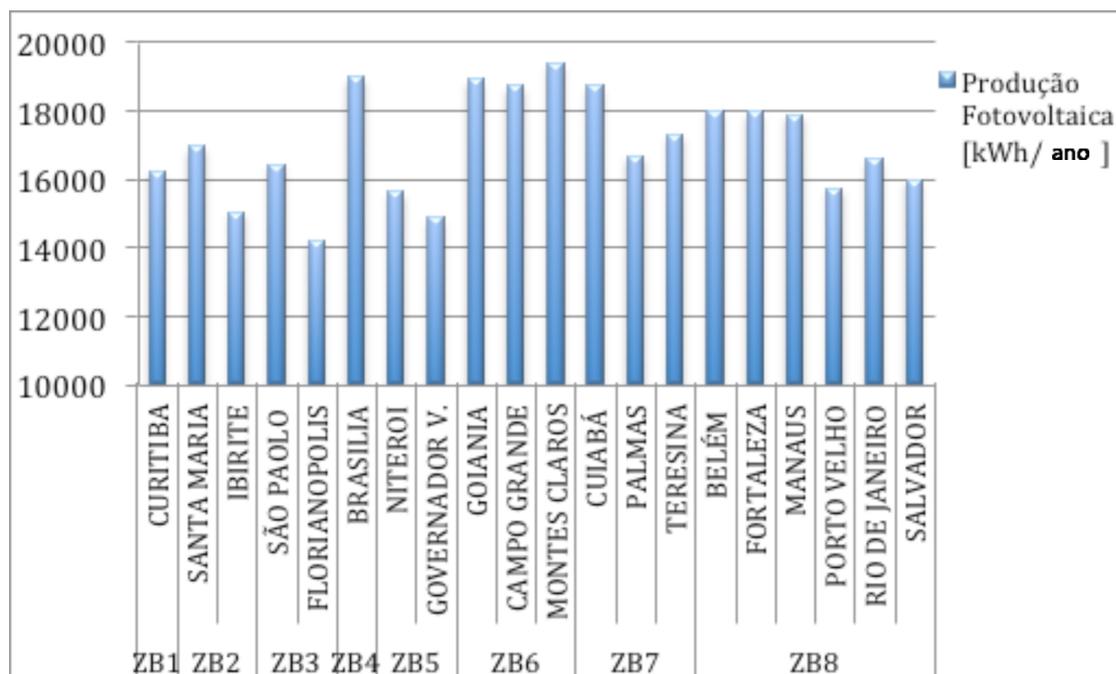


Figura 69 – Geração fotovoltaica da *Ekó House* nas cidades brasileiras.

Tabela 40 – Variação percentual de geração fotovoltaica da *Ekó House* com alterações no Brasil.

ZONA BIOCLIMÁTICA	CIDADE	% DE DIFERENÇA DE Geração Fotovoltaica Zona Bioclimática	% DE DIFERENÇA DE Geração Fotovoltaica Brasil
ZB1	CURITIBA	-	36
ZB2	SANTA MARIA	12,7	
	IBIRITE		
ZB3	SÃO PAULO	15,6	
	FLORIANOPOLIS		
ZB4	BRASILIA	-	
ZB5	NITEROI	5	
	GOVERNADOR VALADARES		
ZB6	GOIANIA	3,4	
	CAMPO GRANDE		
	MONTES CLAROS		
ZB7	CUIABÁ	12,3	
	PALMAS		
	TERESINA		
ZB8	BELÉM	14,4	
	FORTALEZA		
	MANAUS		
	PORTO VELHO		
	RIO DE JANEIRO		
	SALVADOR		

Como ilustrado na metodologia, as normas brasileiras, em matéria de sistemas fotovoltaicos, não incentivam a instalação de um número maior de painéis fotovoltaicos de acordo com o que a edificação consome. Isso quer dizer que, ao longo do ano, a geração de energia deve ser igual ao consumo da edificação, para chegar a um balanço energético equivalente a zero. Como verificado na presente pesquisa, os 48 módulos fotovoltaicos instalados na casa *Ekó House* produzem uma quantidade de energia elétrica que permite gerar além do consumo da casa. Mesmo assim, segundo a atual norma brasileira que disciplina a produção de energia elétrica de sistemas isolados, essa produção de energia a mais não recebe compensação econômica. Por isso, para cada cidade brasileira analisada, foi avaliado o número de painéis fotovoltaicos úteis para o consumo da casa, segundo o padrão de uso proposto.

**Tabela 41 – Número de módulos fotovoltaicos necessários nas cidades brasileiras.**

Zona Bioclimática	Cidades	Nº Painéis Foto. Projeto Original	Nº Painéis Foto. Projeto Alterado	Produção Fotovoltaica [kWh/ano]	Consumos [kWh/ano]
ZB1	CURITIBA	48	11	16220	3530
	SANTA MARIA	48	11	16950	3775
ZB2	IBIRITE	48	12	15035	3770
	SÃO PAULO	48	11	16435	3717
ZB3	FLORIANOPOLIS	48	13	14220	3792
	BRASILIA	48	10	18970	3893
ZB4	NITEROI	48	13	15620	3971
	GOVERNADOR V.	48	14	14876	4182
ZB5	GOIANIA	48	10	18930	3983
	CAMPO GRANDE	48	11	18720	4106
	MONTES CLAROS	48	10	19352	4026
ZB6	CUIABÁ	48	12	18732	4510
	PALMAS	48	14	16680	4715
	TERESINA	48	15	17298	5088
ZB7	BELÉM	48	12	17990	4276
	FORTALEZA	48	12	18176	4396
	MANAUS	48	12	17890	4512
	PORTO VELHO	48	14	15720	4539
	RIO DE JANEIRO	48	12	16570	4083
ZB8	SALVADOR	48	13	15980	4370

Como mostra a Tabela 41, o número de painéis fotovoltaicos nas diferentes cidades avaliadas muda de acordo com o consumo da casa e com a geração de energia fotovoltaica. Assim, a quantidade de painéis fotovoltaicos para atingir o consumo da *Ekó House* passa de 10 unidades nas cidades de Brasília, Goiânia e Montes Claros, a 15 painéis na cidade de Teresina. É claro que nas cidades onde a quantidade de painéis é menor, deve-se estabelecer uma melhor geração fotovoltaica e um consumo anual da casa na média entre as cidades. Em Teresina, o consumo anual elevado da casa aumenta o número de painéis para satisfazer a exigência energética da habitação. Outro dado a ser

analisado é que, em cidades da mesma zona bioclimática, varia o número de painéis para atingir o consumo da *Ekó House*, pois depende, como já discutido, principalmente, de uma diferente quantidade de radiação solar incidente, nas cidades que se encontram na mesma zona bioclimática. Por fim, percebe-se que os 48 painéis fotovoltaicos instalados na cobertura da casa têm uma quantidade 4 vezes superior ao número necessário para o uso residencial da habitação, sendo que tal dimensionamento do sistema fotovoltaico é devido às exigências da competição do SDE.

#### 4.8.3 Produção de água quente: coletores solares

A casa no seu projeto original apresenta a instalação de 4 coletores solares na cobertura. Nas alterações de projeto, foi modificada a inclinação dos coletores, de acordo com a inclinação do sistema fotovoltaico (mesmo essa não sendo a melhor inclinação para o desempenho dos coletores). Foi verificado, também, a real exigência dos 4 coletores nas diferentes cidades brasileiras avaliadas.

Tabela 42 – Número de coletores necessários nas cidades brasileiras.

Zona Bioclimática	Cidades	NºColeores Solares Projeto Original	NºColeores Solares Projeto Alterado
<b>ZB1</b>	CURITIBA	4	2
<b>ZB2</b>	SANTA MARIA	4	2
	IBIRITE	4	2
<b>ZB3</b>	SÃO PAULO	4	2
	FLORIANOPOLIS	4	2
<b>ZB4</b>	BRASILIA	4	2
<b>ZB5</b>	NITEROI	4	2
	GOVERNADOR V.	4	2
<b>ZB6</b>	GOIANIA	4	1
	CAMPO GRANDE	4	1
	MONTES CLAROS	4	1
<b>ZB7</b>	CUIABÁ	4	1
	PALMAS	4	1
	TERESINA	4	1
<b>ZB8</b>	BELÉM	4	1
	FORTALEZA	4	1
	MANAUS	4	1
	PORTO VELHO	4	1
	RIO DE JANEIRO	4	1
	SALVADOR	4	1

Como mostra a Tabela 42, o número de coletores solares úteis para satisfazer as exigências de um casal na casa muda segundo a zona bioclimática. Em geral, percebe-se que em todas as cidades avaliadas, o número inicial de 4 coletores é muito maior do que realmente necessita a casa ao longo do ano. Nas ZB1, ZB2, ZB3, ZB4 e ZB5, será necessária a instalação de 2 coletores solares no telhado da casa, enquanto nas outras cidades, a presença de um só coletor solar será suficiente.

#### 4.9 RTQ-R: MÉTODO PRESCRITIVO

Avaliada a casa com as mudanças projetuais, utilizando o método do balanço energético, o passo seguinte foi avaliar a *Ekó House* por meio do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). A casa será avaliada nas mesmas cidades analisadas anteriormente na *Ekó House*, sem alterações pelo método prescrito do RTQ-R.

O primeiro passo foi reportar todos os dados relativos às características físicas da casa para a avaliação da envoltória. Nesse caso, os dados da envoltória mudarão nas diferentes zonas bioclimáticas segundo as indicações das mudanças de projeto, discutidas no subcapítulo 4.6.

##### 4.9.1 Envoltória

Como mostra a Tabela 43, o desempenho energético da envoltória da *Ekó House* com as alterações de projeto, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, resulta em um comportamento bastante diferente. Percebe-se que só na zona bioclimática 7 a envoltória da casa recebeu como classificação o nível C; isso deve-se ao fato de a casa, com as alterações de projeto da envoltória aportadas, não atender ao pré-requisito referente às paredes externas, o que faz com que a capacidade térmica fique abaixo daquela requerida, obtendo como classificação final da envoltória (EqNumEnv) o nível C. Mesmo assim, percebe-se como, sem o pré-requisito das paredes externas que não foi atendido, a classificação da envoltória na zona bioclimática 7 seria o nível A. Outro dado a ser analisado é que só em 50% das zonas bioclimáticas a casa obteve o nível A na envoltória. Na ZB3, por exemplo, a casa recebeu o nível B na envoltória devido à classificação da envoltória para inverno, que obteve o nível C.

**Tabela 43 – Avaliação da envoltória no método prescritivo do RTQ-R: *Ekó House* com alterações.**

**METODO PRESCRITIVO -alterações de projeto**

**EKO HOUSE**

ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niteroi	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
Nível Envoltória Resfriamento - GHR [°C.h]	A 41	B 2748	A 793	A 554	A 4607	B 3751	A 12130	A 5202
Nível Envoltória Aquecimento - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 14,5	A 7,85	C 13,76	B 7,94	-	-	-	-
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 1,06	A 2,20	A 3,20	A 0,00	A 20,90	A 0,00	A 25,08	A 12,58
<b>PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
Paredes externas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Cobertura	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Iluminação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ventilação Cruzada	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Banheiros com Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
EqNumEnvAmb <sub>Rest</sub>	A 5	B 4	A 5	A 5	A 5	B 4	C 3	A 5
EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	A 5	A 5	C 3	B 4	-	-	-	-
EqNumEnvAmb <sub>Ref</sub>	B 4	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	C 3	A 5
EqNumEnv	A 5	B 4,4	B 4,28	A 4,64	A 5	B 4	C 3	A 5

#### 4.9.2 Aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água foi avaliado tendo em conta o diferente número de coletores da casa com as alterações projetuais nas diferentes zonas bioclimáticas. O reservatório de água quente é igual a 300 litros. O consumo diário do casal que mora na *Ekó House*, por sua vez, é de 150 litros.

A avaliação dos coletores é feita seguindo a mesma metodologia usada anteriormente. Para avaliar os coletores solares, foi escolhido um coletor com selo PROCEL, com características geométricas e físicas parecidas com o coletor instalado na casa, conforme foi indicado na seção 4.3.2. Uma vez avaliados os pré-requisitos, foi analisada, para cada cidade escolhida nas 8 zonas bioclimáticas, a fração solar. Em todas as cidades, a fração solar foi superior a 70%, o que equivale a uma classificação de nível A em todas as cidades avaliadas (Tabela 44).

**Tabela 44– Avaliação do sistema de aquecimento de água da casa com as alterações projetuais do método RTQ-R.**

METODO PRESCRITIVO -alterações de projeto								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMATICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niteroi	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
<i>EqNumAA</i>	A	A	A	A	A	A	A	A
	5	5	5	5	5	5	5	5

### 4.9.3 Bonificações

Por fim, para chegar à classificação energética final da *Ekó House* com as alterações de projeto, o passo final foi avaliar a presença de eventuais bonificações. As bonificações presentes na casa foram somadas à pontuação total. Entre as 8 bonificações presente no RTQ-R, a casa obteve:

- 0,3 pontos para bonificação de iluminação natural;
- 0,2 pontos para profundidade;
- 0,1 ponto para refletância do teto;
- 0,1 ponto para a presença de uso de refrigerador com ENCE A; e
- 0,1 ponto para a instalação de ventiladores de teto com selo PROCEL.

Comparado à avaliação da casa antes das alterações de projeto, a *Ekó House* ganhou 0,1 ponto pela instalação de ventiladores de teto. A pontuação total das bonificações presentes na casa equivale a 0,5 pontos em todas as zonas bioclimáticas avaliadas (Tabela 45).

**Tabela 45 – Bonificações da *Ekó House* com alterações do método RTQ-R.**

METODO PRESCRITIVO -alterações de projeto								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMATICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niteroi	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
<i>Bonificações</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

### 4.9.4 Classificação final da *Ekó House*

Como mostra a Tabela 46, a *Ekó House* obteve como classificação energética final o nível A em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, exceto na zona bioclimática 7, que obteve o nível B, causado pelo não atendimento do pré-requisito da envoltória. É importante

ressaltar, no entanto, como em 6 das 8 zonas bioclimáticas o nível A pode ser obtido sem a pontuação das bonificações.

**Tabela 46 – Classificação energética final da *Ekó House* com alterações de projeto: método prescritivo RTQ-R.**

**METODO PRESCRITIVO -alterações de projeto**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niterói	Campo Grande	Cuiabá	Salvador
<i>EqNumEnv</i>	A 5	B 4.4	B 4.28	A 4.64	A 5	B 4	C 3	A 5
<i>EqNumAA</i>	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5
<i>Bonificações</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>PT HU</i>	A 5.5	A 5.18	A 5.13	A 5.27	A 5.5	A 4.85	B 4.2	A 5.5

#### 4.10 RTQ-R: MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Avaliada a casa com as alterações de projeto por meio do método prescritivo do RTQ-R, o passo seguinte foi avaliar a *Ekó House* com o método de simulação do RTQ-R. Como mencionado no capítulo da metodologia, nesse método, o desempenho da envoltória da *Ekó House* foi determinado por meio de simulação computacional, onde se modela a geometria da edificação a ser avaliada, de acordo com os parâmetros especificados pelo RTQ-R.

A zona bioclimática 5 não será avaliada pelo método de simulação do RTQ-R, porque quando foram desenvolvidas as equações úteis para gerar os equivalentes numéricos para a ZB5, não estavam presentes os arquivos climáticos de cidades na aquela zona bioclimática, e, por isso, os valores dos equivalentes numéricos da ZB5 são os mesmos da ZB8. As cidades onde a casa é avaliada, portanto, são as mesmas analisadas no método prescritivo do RTQ-R.

##### 4.10.1 Envoltória

Como mostra a Tabela 47, o desempenho energético da envoltória da *Ekó House*, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, resulta na obtenção de uma ótima classificação final em todas as zonas bioclimáticas, atingindo como classificação final da envoltória (*EqNumEnv*) o nível A, com exceção para as ZB1 e ZB6, onde o nível da envoltória caiu para B. Também na zona bioclimática 7, onde no método prescritivo a classificação da envoltória era o nível C, para o não

atendimento do pré-requisito da capacidade térmica, a casa obteve um ótimo desempenho, alcançando o nível A.

Por fim, da análise da envoltória por meio do método de simulação, podemos afirmar que a casa obteve um desempenho excelente (Nível A) nas maiorias das zonas bioclimáticas avaliadas, com exceção para a ZB1 e ZB6, onde o desempenho da envoltória foi um pouco abaixo, alcançando o nível B. Outro aspecto interessante a ser avaliado é sobre como a casa obteve o nível A na classificação da envoltória para ambiente refrigerado artificialmente em todas as zonas bioclimáticas, resultado de uma casa que foi projetada para funcionar com um sistema de ar condicionado. A casa, mesmo depois das alterações de projeto, continuou mantendo as suas características de baixa inércia térmica, que prejudicam, em alguns casos, a obtenção do nível A.

**Tabela 47 – Avaliação da envoltória da *Ekó House* com alterações de projeto no método simulação do RTQ-R.**

**METODO SIMULAÇÃO - alterações de projeto**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
Nível Envoltória Resfriamento-GHR [°C.h]	A 105	A 1790	A 782	A 675	-	B 3450	A 11540	A 4970
Nível Envoltória Aquecimento - CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 22.5	A 7.9	B 11.05	A 3.3	-	-	-	-
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 0.57	A 4.28	A 5.32	A 2.1	-	A 4.34	A 22.56	A 11.46
<b>PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
Iluminação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Ventilação Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim	Sim	Sim
EqNumEnvAmb <sub>rest</sub>	A 5	A 5	A 5	A 5	-	B 4	A 5	A 4
EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	B 4	A 5	B 4	A 5	-	-	-	-
EqNumEnvAmb <sub>refr</sub>	A 5	A 5	A 5	A 5	-	A 5	A 5	A 5
EqNumEnv	B 4.08	A 5	A 4.64	A 5	-	B 4	A 5	A 5

Outro dado interessante é verificar como existe diferença na avaliação da envoltória da casa nas duas diferentes metodologias. Como observado na pesquisa de Juliana Al-Alam Pouey (2012), o método prescritivo é mais “conservador” na avaliação da envoltória, tendo um resultado que penaliza a classificação final da edificação. Isso acontece porque, com o método de simulação do RTQ-R, que envolve simulações

computacionais, consegue-se ter uma aproximação muito mais real da edificação.

#### 4.10.2 Aquecimento de Água

O sistema de aquecimento de água foi avaliado usando a mesma metodologia do método prescritivo do RTQ-R. Por isso, o resultado final será o mesmo obtido na precedente metodologia. Assim, em todas as cidades, a fração solar foi superior a 70%, o que equivale a uma classificação de nível A em todas as cidades avaliadas (Tabela 48).

**Tabela 48 – Avaliação do sistema de aquecimento de água no método RTQ-R.**  
*METODO SIMULAÇÃO - alterações de projeto*

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niterói	Campo Grande	Cuiabá	Salvador
EqNumAA	A	A	A	A	-	A	A	A
	5	5	5	5	-	5	5	5

#### 4.10.3 Bonificações

Da mesma forma, também a pontuação das bonificações foi a mesma que na avaliação da casa no RTQ-R com o método prescritivo. As bonificações presentes na casa foram somadas à pontuação total. Entre as 8 bonificações presentes no RTQ-R, a casa obteve:

- 0,3 pontos para bonificação de iluminação natural;
- 0,2 pontos para profundidade;
- 0,1 ponto para refletância do teto;
- 0,1 ponto para a presença de uso de refrigerador com ENCE A; e
- 0,1 ponto para a instalação de ventiladores de teto com selo PROCEL.

A pontuação total das bonificações presentes na casa equivale a 0,5 pontos em todas as zonas bioclimáticas avaliadas (Tabela 49).

**Tabela 49 – Bonificações da *Ekó House* com alterações de projeto: RTQ-R.  
MÉTODO SIMULAÇÃO - alterações de projeto**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niterói	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
<b>Bonificações</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5

#### 4.10.4 Classificação final da *Ekó House*

Como mostra a Tabela 50, a *Ekó House*, com as alterações de projeto, alcançou uma ótima classificação final em todas as zonas bioclimáticas avaliadas, obtendo o nível A. Mesmo na ZB1 e ZB6, onde a casa não conseguiu obter o nível A na envoltória, a casa atingiu o nível máximo na classificação final. É importante ressaltar, no entanto, que em 6 das 7 zonas bioclimáticas avaliadas, a casa consegue obter o nível A sem a pontuação das bonificações.

**Tabela 50 – Classificação energética final da *Ekó House* com mudanças de projeto:  
método simulação do RTQ-R.**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niterói	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
<b>EqNumEnv</b>	B 4.08	A 5	A 4.64	A 5	-	B 4	A 5	A 5
<b>EqNumAA</b>	A 5	A 5	A 5	A 5	-	A 5	A 5	A 5
<b>Bonificações</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5
<b>PT HU</b>	A 4.90	A 5.5	A 5.26	A 5.5	-	A 4.85	A 5.5	A 5.5

#### 4.11 CONCLUSÕES E RESULTADOS DA *EKÓ HOUSE* COM ALTERAÇÕES DE PROJETO

A avaliação dos resultados da casa com as alterações de projeto propostas, mostrou que a *Ekó House* obteve um desempenho energético melhor comparado aos resultados da casa antes das alterações de projeto nas três metodologias usadas.

Do resultado do balanço energético, podemos afirmar que a casa, depois das alterações projetuais, tem um desempenho melhor, em termos de consumo, nas zonas bioclimáticas mais frias, em particular, nas cidades da ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4. Mesmo assim, percebe-se como a diferença de consumo da casa entre as diferentes cidades não é muito grande, não superando os 1500 kWh por ano, devido às diferentes

condições climáticas das cidades brasileiras. As mudanças de projeto, também, não mudaram a tendência observada anteriormente sobre a geração fotovoltaica. Percebe-se como a casa, inclusive em cidades da mesma zona bioclimáticas, apresenta uma diferença de geração de energia bastante elevada. Isso influi bastante no resultado do balanço energético final, criando uma não homogeneidade de resultados da *Ekó House*.

A avaliação da *Ekó House*, por meio do método prescritivo do RTQ-R, confirmou que a casa tem uma eficiência energética elevada, com exceção da ZB7, onde não foi atendido o pré-requisito da envoltória. Assim, em 7 das 8 zonas, a casa obteve a classificação máxima com um nível de eficiência energética A.

Por fim, os resultados da *Ekó House* com as alterações de projeto no método de simulação do RTQ-R evidenciaram, também, que a casa tem uma excelente eficiência energética em todas as diferentes zonas bioclimáticas, alcançando o nível A na classificação final.

Os resultados demonstram como realmente a casa com as alterações bioclimáticas melhorou o próprio desempenho energético nas diferentes condições climáticas brasileiras. Mas, para verificar e quantificar a melhor eficiência energética da casa por meio das alterações de projeto, será necessário comparar os resultados da casa antes e depois as mudanças projetuais aportadas.

#### 4.12. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA *EKÓ HOUSE* ORIGINAL E COM AS ALTERAÇÕES DE PROJETO

Até agora, foram avaliados os resultados de forma independente, não estabelecendo nenhuma referência sobre o melhor desempenho da casa depois das alterações projetuais propostas. Assim, uma vez obtidos os resultados da casa no seu projeto original e com as alterações de projeto, o passo seguinte foi verificar se as mudanças projetuais melhoraram a eficiência energética da edificação. Nesse subcapítulo, então, é feita a comparação dos resultados obtidos por meio das três metodologias usadas da casa no projeto original e com as mudanças projetuais.

#### 4.13 MÉTODO DO BALANÇO ENERGÉTICO

Primeiramente, serão comparados os resultados relativos à metodologia do balanço energético da *Ekó House* no seu projeto original e com as alterações de projeto. Dessa forma, a casa será comparada nas 20 cidades brasileiras.

A Figura 70 mostra a comparação do balanço energético da *Ekó House* nas 20 cidades avaliadas. Em todas as cidades, a casa com as alterações de projeto obteve um melhor desempenho que no seu projeto original. Nas zonas bioclimáticas mais frias (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4), esse melhor desempenho foi menor comparado com as ZB7 e ZB8, onde o melhor desempenho da casa chega ser maior que 10% do balanço final. Assim, a cidade que mais melhorou o próprio balanço energético em comparação com o projeto original foi a cidade de Fortaleza, com um balanço energético melhor, de 1352 kWh por ano. Por outro lado, a cidade que obteve o menor benefício das mudanças projetuais foi Curitiba, com um balanço energético melhor, de 352 kWh por ano. Isso é devido a uma redução do consumo de energia, que, nas zonas bioclimáticas mais quentes, é maior que nas ZB mais frias.

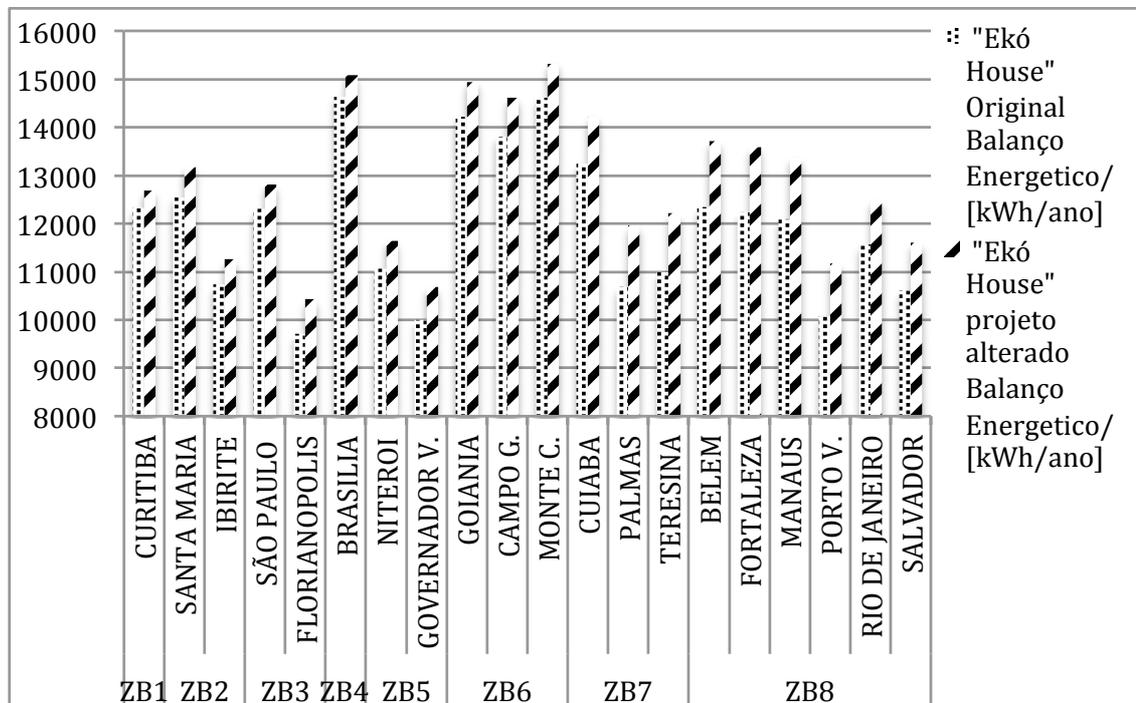


Figura 70 – Comparação do balanço energético da *Ekó House* original: projeto alterado.

Para verificar o que gerou essa melhor eficiência energética da casa com as alterações projetuais nas diferentes cidades, foram analisados os resultados relativos os consumos e à geração de energia fotovoltaica nas duas diferentes condições de projeto.

#### 4.13.1 Consumo

A Figura 71 mostra a comparação entre o consumo da casa antes e depois das alterações de projeto nas 20 cidades avaliadas. Os resultados mostram como as alterações realmente diminuíram os consumos da *Ekó House* em todas as cidades brasileiras. Esse menor gasto chega a ter uma economia de até 20% dos consumos anuais da casa se comparado com o projeto original. Isso se verifica nas cidades das zonas bioclimáticas 7 e 8, onde o consumo anual da casa é maior. Nas cidades das zonas bioclimáticas mais frias, essa redução dos consumos foi menos evidente. Na cidade de Curitiba, por exemplo, foi equivalente a 227 kWh por ano, o que corresponde a uma economia de pouco mais de 5% do consumo anual.

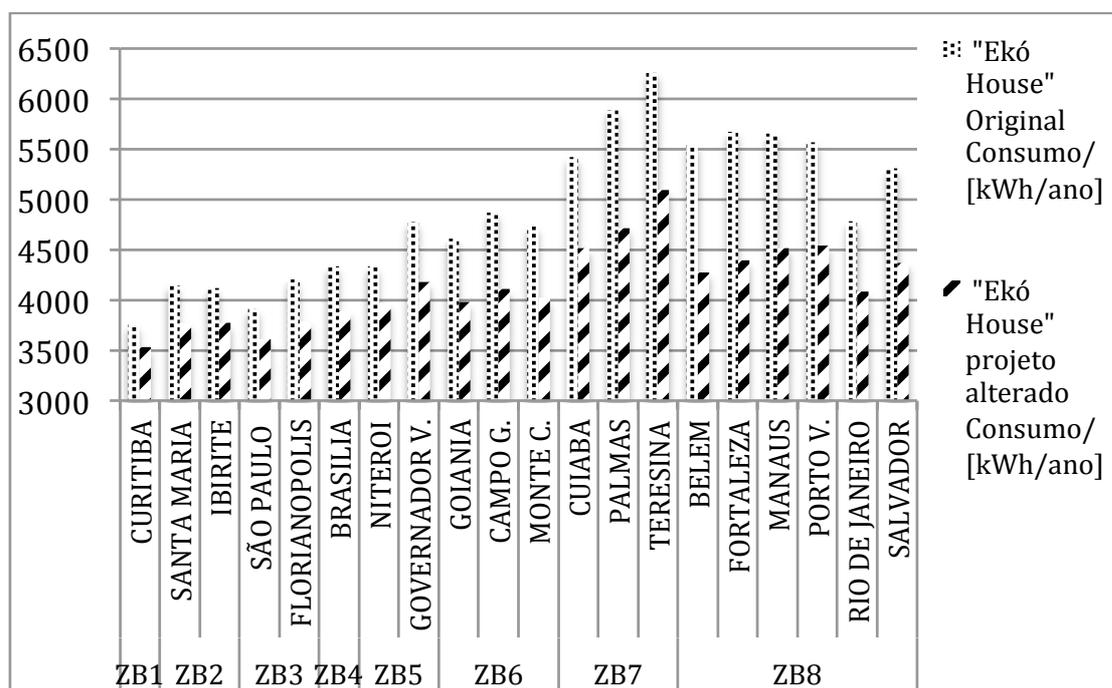


Figura 71 – Comparação do consumo elétrico total da *Ekó House* original: projeto alterado.

Essa economia de energia é causada pelo menor gasto, realizado com o uso do sistema de condicionamento de ar para manter a casa nas condições de conforto, já que os outros itens de consumo da casa são

inalterados nas duas análises. Como evidencia a Figura 72, o menor consumo do ar condicionado chega a gerar uma economia superior a 30% no consumo anual, em cidades como Cuiabá, Palmas, Teresina, Belém e Fortaleza. Isso evidencia como, realmente, a casa que foi projetada para participar da competição em Madri tem um desempenho muito melhor em condições climáticas de maior frio. Assim, em cidades como São Paulo, Santa Maria e Ibirité, as alterações projetuais conseguem ter uma economia no consumo de ar condicionado um pouco superior a 15%. Isso demonstra que, de fato, a casa, sem as alterações de projeto, tem um desempenho melhor em condições climáticas mais frio.

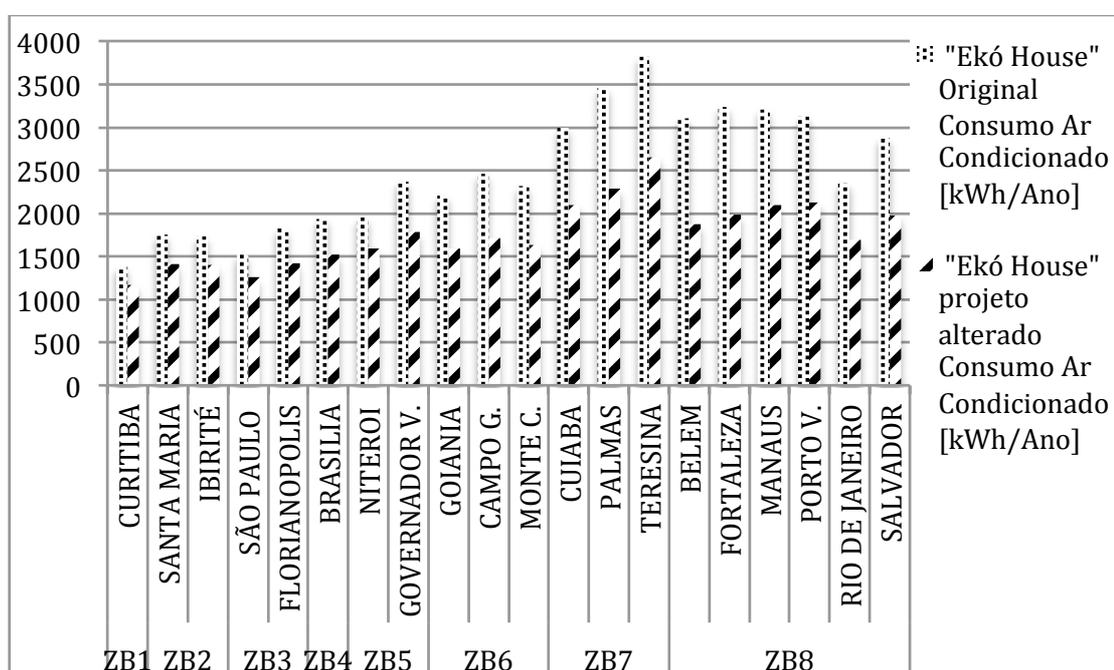


Figura 72 – Comparação do consumo do ar condicionado da *Ekó House* original: projeto alterado.

#### 4.13.2 Geração fotovoltaica

A geração fotovoltaica da *Ekó House*, como mostra a Figura 73, não apresenta mudanças significativas entre a casa no projeto original e com as mudanças projetuais. A alteração da inclinação do telhado da habitação, de acordo com a latitude da cidade, não altera de forma significativa a geração de energia fotovoltaica da *Ekó House*. Nas cidades de Florianópolis e Santa Maria, essa alteração permitiu um incremento pouco superior a 2% na geração fotovoltaica, se comparado com o projeto original da casa. Nas outras cidades, a melhor geração

fotovoltaica foi muito baixa, resultando, na maioria dos casos, em uma mudança que pouco influencia o balanço energético final.

Por fim, outro resultado para se analisar é o número de módulos fotovoltaicos que a casa necessita para alcançar o consumo interno da casa. Como apresentado na Tabela 41, os 48 painéis instalados na cobertura da casa são uma quantidade superestimada para o uso residencial brasileiro. Assim, *Ekó House* necessitará, na situação pior, de 15 painéis fotovoltaicos para alcançar o consumo da casa na cidade de Teresina, o que significa menos de 30% dos painéis instalados na casa para a competição em Madri. Consequentemente, o número de inversores instalados na casa será reduzido a uma unidade em todas as cidades brasileiras.

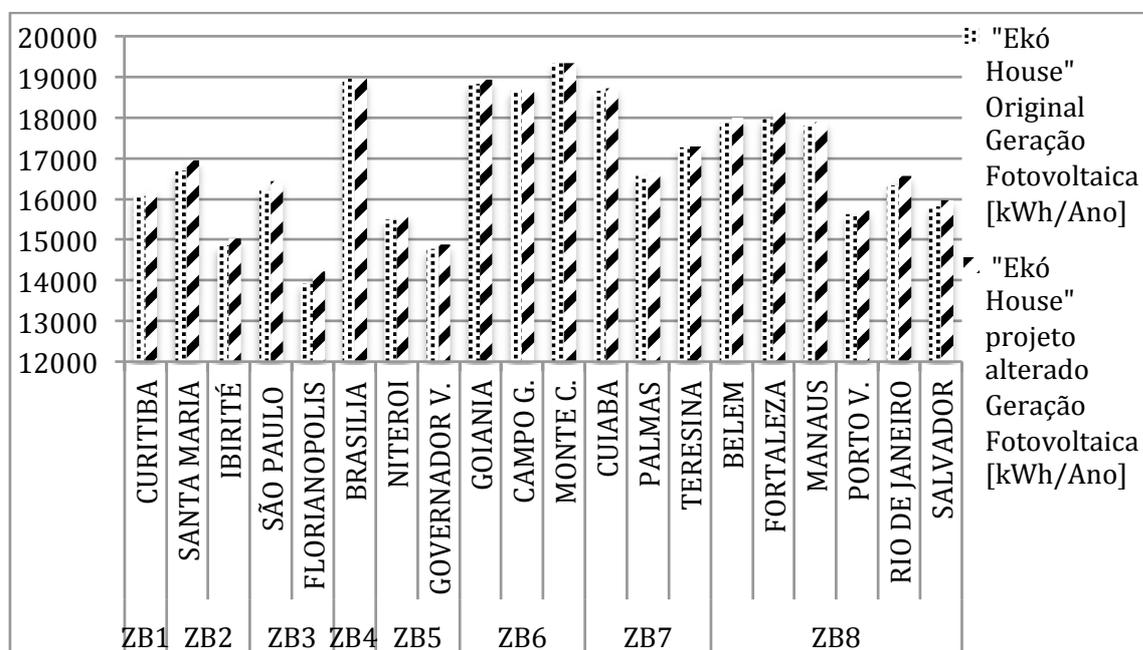


Figura 73 – Comparação da geração fotovoltaica da *Ekó House* original: projeto alterado.

#### 4.13.3 Produção de água quente: coletores solares.

Em relação ao número de coletores solares instalados na cobertura da casa para alcançar o consumo de água quente do casal, verifica-se que 2 coletores são suficientes para o consumo diário de água quente. Assim, os 4 coletores solares podem ser superdimensionados para as condições climáticas brasileiras, onde, nas cidades com a temperatura média mensal mais elevada, será suficiente a instalação de 1 só coletor solar (Tabela 42).

#### 4.14 RTQ-R: MÉTODO PRESCRITIVO

Uma vez comparados os resultados relativos ao estudo do balanço energético da *Ekó House* no seu projeto original e com as alterações projetuais, foram comparados os resultados relativos ao método prescritivo do RTQ-R.

Analisando e comparando os resultados finais obtidos com o método prescritivo do RTQ-R, pode-se concluir como realmente as alterações projetuais melhoraram a eficiência energética da casa; enquanto o projeto original da *Ekó House* obteve o nível B na classificação final, em todas as zonas bioclimáticas, a casa com as alterações projetuais alcançou o nível A em todas as zonas bioclimáticas, com exceção para a ZB7 (Tabela 51). Esses resultados são condicionados pelo não atendimento do pré-requisito da envoltória no projeto original da casa. Para ter uma visão mais detalhada sobre a comparação da casa com essa metodologia, é mais interessante, portanto, verificar a eficiência da envoltória sem os pré-requisitos.

Assim, percebe-se como a envoltória da casa atingiu realmente um melhor desempenho por meio das alterações de projeto. Como evidencia o nível de envoltória para resfriamento, o número de Graus Horas que superam a temperatura de conforto durante o ano é menor em todas as zonas bioclimáticas na avaliação do projeto da casa com as alterações. Isso, na maioria dos casos, comporta um melhor nível de eficiência da envoltória para resfriamento, que pode melhorar em até dois níveis, como no caso da ZB3 e ZB7. Analisando os resultados do nível da envoltória para o aquecimento, percebe-se como o consumo em kWh/m<sup>2</sup> por ano, por meio das alterações projetuais, não subiu grandes alterações e, no caso da ZB3, piorou o próprio desempenho.

Comparando os resultados relativos ao sistema de aquecimento de água, observa-se como a classificação final do sistema, nas duas avaliações, consegue obter o nível A. Portanto, também com um número menor de coletores solares, a casa alcançou o nível máximo, o que significa que realmente 4 coletores são superdimensionados para o consumo da casa.

Tabela 51 – Comparação dos resultados da *Ekó House*: método prescritivo do RTQ-R.

METODO PRESCRITIVO								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Governador V.	Campo Grande	Teresina	Fortaleza
Nível Envolvória Resfriamento - GHR [°C.h]	A 71	B 3990	C 1998	B 1133	B 7268	C 7170	C 20935	B 7268
Nível Envolvória Aquecimento - CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 15,94	A 10,95	B 11,50	B 8,80	- -	- -	- -	- -
Nível Envolvória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 1,40	A 2,60	B 8,40	A 1,50	A 20,90	A 10,30	A 29,30	A 20,90
<b>PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
<i>EqNumEnv</i>	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	C 3	B 4
<i>EqNumAA</i>	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5
<i>Bonificações</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
<i>PT HU</i>	B 4.1	B 4.1	B 4.1	B 4.1	B 4.1	B 4.1	B 4.1	B 4.45

METODO PRESCRITIVO -alterações de projeto								
EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	Niteroi	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
Nível Envolvória Resfriamento - GHR [°C.h]	A 41	B 2748	A 793	A 554	A 4607	B 3751	A 12130	A 5202
Nível Envolvória Aquecimento - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 14,5	A 7,85	C 13,76	B 7,94	- -	- -	- -	- -
Nível Envolvória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 1,06	A 2,20	A 3,20	A 0,00	A 20,90	A 0,00	A 25,08	A 12,58
<b>APÓS PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
<i>EqNumEnv</i>	A 5	B 4.4	B 4.28	A 4.64	A 5	B 4	C 3	A 5
<i>EqNumAA</i>	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5	A 5
<i>Bonificações</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>PT HU</i>	A 5.5	A 5.18	A 5.13	A 5.27	A 5.5	A 4.85	B 4.2	A 5.5

As bonificações no projeto com as alterações ganharam 0,1 ponto a mais para a instalação de ventiladores de teto com selo PROCEL, em todas as zonas bioclimáticas. Por isso, a bonificação alcançará uma pontuação de 0,5 pontos no projeto da casa com as alterações.

Por fim, a classificação final obtida nas duas diferentes avaliações da casa não permite a correta comparação dos resultados, devido ao pré-requisito da envoltória não ter sido atendido. Por isso, a comparação dos resultados da casa, antes e depois das alterações de projeto, atingirá um valor maior com o método de simulação do RTQ-R.

#### 4.15 RTQ-R MÉTODO SIMULAÇÃO

A última metodologia para se comparar a casa antes e depois das alterações projetuais é por meio do método de simulação do RTQ-R.

Analisando e comparando os resultados finais obtidos por meio do método de simulação do RTQ-R, pode-se concluir como realmente as alterações projetuais melhoraram a eficiência energética da casa; como demonstra a Tabela 52, isso é evidente em todas as zonas bioclimáticas nas quais a casa foi avaliada. Como demonstra a classificação final, *Ekó House* obteve uma melhor pontuação final em todas as zonas bioclimáticas, melhorando de nível de eficiência energética nas ZB6, ZB7 e ZB8, passando do nível B ao nível A. Esse resultado demonstra como realmente a casa, no seu projeto original, foi criada para condições climáticas de maior frio. Por meio das mudanças de projetos aportadas, alcançou-se o nível máximo de eficiência em todo o Brasil. Tal resultado é devido, principalmente, a um melhor desempenho da casa na envoltória, na qual obteve o nível A em 5 das 7 zonas bioclimáticas avaliadas. Na ZB7, por exemplo, onde a classificação energética da envoltória anterior às mudanças projetuais era de nível C, a *Ekó House* passou a ter o nível A. Esse resultado, então, evidencia que as alterações projetuais realmente melhoraram a eficiência energética da casa nas diferentes condições climáticas brasileiras (Tabela 52).

O sistema de aquecimento de água, por sua vez, é observado na classificação final do sistema, onde, nas duas avaliações, obteve o nível A. Portanto, também com um número menor de coletores solares, a casa alcançou o nível máximo, o que significa que, realmente, 4 coletores são superdimensionados para o consumo da casa.

As bonificações no projeto com as alterações ganharam 0,1 ponto a mais para a instalação de ventiladores de teto com selo PROCEL em todas as zonas bioclimáticas. Por isso, a bonificação atingirá uma pontuação de 0,5 pontos no projeto da casa com as alterações.

**Tabela 52 – Comparação dos resultados da *Ekó House*: método de simulação do RTQ-R.**  
**METODO SIMULAÇÃO**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Teresina	Fortaleza
Nível Envoltória Resfriamento-GHR [°C.h]	A 141	A 2166	B 1590	B 798	- -	C 6625	C 22438	B 9687
Nível Envoltória Aquecimento-CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 33	B 17.82	B 7.05	A 2.16	- -	- -	- -	- -
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 0.57	B 7.08	B 6.25	A 2.2	- -	B 15.9	B 31.74	A 19.46
<b>APOS PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
<i>EqNumEnv</i>	B 4.08	B 4.44	B 4	B 4.32	- -	C 3	C 3	B 4
<i>EqNumAA</i>	A 5	A 5	A 5	A 5	- -	A 5	A 5	A 5
<i>Bonificações</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	-	0.4	0.4	0.4
<i>PT HU</i>	A 4.80	A 5.04	A 4.75	A 4.96	- -	B 4.1	B 4.1	B 4.45

**METODO SIMULAÇÃO - alterações de projeto**

EKO HOUSE								
ZONA BIOCLIMÁTICA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
CIDADE	Curitiba	Santa Maria	Florianópolis	Brasília	-	Campo Grande	Cuiaba	Salvador
Nível Envoltória Resfriamento-GHR [°C.h]	A 105	A 1790	A 782	A 675	- -	B 3450	A 11540	A 4970
Nível Envoltória Aquecimento-CA [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	B 22.5	A 7.9	B 11.05	A 3.3	- -	- -	- -	- -
Nível Envoltória Refrigeração - CR [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	A 0.57	A 4.28	A 5.32	A 2.1	- -	A 4.34	A 22.56	A 11.46
<b>APOS PRÉ REQUISITOS ENVOLTÓRIA</b>								
<i>EqNumEnv</i>	B 4.08	A 5	A 4.64	A 5	- -	B 4	A 5	A 5
<i>EqNumAA</i>	A 5	A 5	A 5	A 5	- -	A 5	A 5	A 5
<i>Bonificações</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5
<i>PT HU</i>	A 4.90	A 5.5	A 5.26	A 5.5	- -	A 4.85	A 5.5	A 5.5

Da classificação final, observa-se como a casa melhorou o próprio nível de eficiência energética nas zonas bioclimáticas mais quentes (ZB6, ZB7 e ZB8), passando do nível B ao nível A na etiqueta final. Isso confirma que a *Ekó House*, no seu projeto original, tem um bom desempenho nas cidades brasileiras mais frias, mas não consegue o mesmo comportamento nas zonas bioclimáticas mais quentes. Tal resultado deve-se ao excessivo isolamento térmico da envoltória da edificação, que rende à casa um isolamento muito eficiente em condições de grande frio.

#### 4.16 CONCLUSÕES DE COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DA EKÓ HOUSE

Com a análise e comparação dos resultados das três metodologias usadas para avaliar a casa antes e depois as alterações projetuais, pode-se afirmar como as três metodologias chegaram na mesma conclusão, ou seja, que a *Ekó House* obteve um melhor benefício das alterações nas zonas bioclimáticas mais quentes. Da análise realizada, percebeu-se como a eficiência energética da casa no seu projeto original apresentou um comportamento melhor nas zonas bioclimáticas mais frias. Assim, nas cidades de Curitiba, Santa Maria, Ibirité, São Paulo e Florianópolis, o consumo energético da casa foi de até 60% menor comparado com o consumo da casa nas outras cidades do Brasil. Da mesma forma, a classificação energética da casa no seu projeto original, por meio do RTQ-R, foi melhor nas ZB1,ZB2,ZB3 e ZB4, obtendo o nível A.

Por meio das alterações de projeto, a casa obteve um melhor desempenho em todas as 20 cidades avaliadas, reduzindo os consumos e incrementando a geração de energia do sistema fotovoltaico. Se por um lado o consumo da casa gerou uma economia de até 20% no consumo anual (nas cidades mais quentes), a alteração da inclinação do telhado para uma melhor geração fotovoltaica não influenciou muito o balanço energético final. Percebe-se, assim, como as alterações de projeto permitiram um melhor desempenho da *Ekó House* nas zonas bioclimáticas mais quentes, melhorando o próprio balanço energético anual em até 10% e reduzindo os consumos em 20%. Da mesma forma, a avaliação da casa com o método de simulação do RTQ-R confirmou como as alterações permitiram obter o melhor desempenho da casa, em particular, nas zonas bioclimáticas 6, 7 e 8.

Os resultados do método prescritivo do RTQ-R devem ser avaliados de forma parcial, enquanto o não atendimento dos pré-requisitos não permite a correta avaliação da casa. Mesmo assim, pode-se afirmar que, também, por meio dessa metodologia as alterações da casa mostraram uma melhor eficiência energética da mesma em todas as zonas bioclimáticas avaliadas.

Para concluir, a análise sobre os coletores solares demonstrou a importância dos mesmos na economia de energia da casa, inclusive com um número inferior de coletores para o uso de um casal. Da mesma forma, o número de painéis fotovoltaicos foi superdimensionado para o consumo anual da casa. A análise demonstrou, assim, que são

suficientes até 10 painéis fotovoltaicos (Montes Claros e Brasília), o que significa menos de 20% dos módulos instalados no telhado da *Ekó House*.

#### 4.17 RESULTADOS: INDICAÇÕES DO PROJETO DA *EKÓ HOUSE* NO BRASIL

A análise dos resultados anteriormente apresentada mostrou como realmente a *Ekó House* obteve um melhor desempenho com as alterações de projeto propostas. Isso demonstra que realmente a casa obteve uma melhor eficiência energética por meio das alterações projetuais. Na Tabela 53, são reportadas, para cada cidade brasileira avaliada, as alterações recomendadas, a fim de que fosse possível utilizar de forma mais correta a casa no Brasil. Em poucas palavras, a Tabela 53 representa o resultado final da presente pesquisa, que tinha como objetivo criar, para cada cidade avaliada, um projeto de *Ekó House* que pudesse ser o mais eficiente possível, utilizando os mesmos materiais usados no projeto original. Dessa forma, o projeto que participou do *Solar Decathlon 2012* poderá ser reutilizado de maneira mais correta para as condições climáticas brasileiras.

As alterações têm como objetivo, sim, melhorar a eficiência energética da casa, mas, ao mesmo tempo, tentar reutilizar o máximo possível os materiais empregados para não alterar o conceito original de projeto da casa. Assim, as alterações de projeto indicadas tentam manter o máximo possível os elementos característicos do projeto da *Ekó House*, como indicado nas entrevistas realizadas, sem perder o objetivo da pesquisa, que é a adaptação da casa no Brasil, melhorando a eficiência energética. Brises de bambu, varandas externas e *layout* interno permaneceram inalterados, pois, nos casos dos elementos de sombreamento em bambu, representam uma boa estratégia passiva, que pode ser útil em todas as cidades avaliadas. Por outro lado, a envoltória da edificação, juntamente com os aspectos ligados com a ventilação natural, foram os elementos que mais subiram variações projetuais nas diferentes cidades avaliadas. É evidente como o grande isolamento térmico da casa (transmitância da envoltória  $U: 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) foi mudado de acordo com as condições climáticas das cidades brasileiras; assim, nas cidades mais frias, percebe-se como foi utilizado o isolamento térmico, diminuindo a espessura do mesmo. Nas cidades mais quentes, a envoltória da casa subiu mais variações, não só nas características térmicas das paredes como também na tipologia de vidros

usada. Nas cidades da ZB7 e ZB8 (com exceção do Rio De Janeiro), a *Ekó House* teve também mudanças nas aberturas, a fim de melhorar não só a ventilação interna, mas também, no caso da ZB7, modificar o ganho de calor para a radiação direta. Percebe-se, no entanto, como as cidades da zona bioclimática 7 apresentam a menor transmitância térmica, devido às condições climáticas locais. Na ZB8, na cidade do Rio de Janeiro, foram aplicadas alterações de projeto, sendo a única cidade onde as condições climáticas se diferenciam de forma evidente se comparadas com as outras cidades da mesma zona. Assim, o isolamento térmico das paredes e das áreas de aberturas não sofreram as mesmas alterações como nas outras cidades avaliadas na zona bioclimática 8.

Os ventiladores de teto, nas diferentes cidades, também foram instalados para melhorar a ventilação interna e, por conseguinte, melhorar o conforto interno da casa. Esse aspecto não foi avaliado nas simulações efetuadas por meio do programa *Energy Plus*, entretanto, as indicações do RTQ-R e da análise bioclimática feita com o programa *Climate Consultant* permitiram melhorar o conforto interno da edificação. Por fim, de acordo com o consumo da habitação, foram definidas, para cada cidade, o número necessário de coletores solares e painéis fotovoltaicos para satisfazer o uso anual de energia e água quente de dois moradores.

Tabela 53 – Indicações de projeto da *Ekó House* no Brasil.

PROJETO CASA EKÓ HOUSE PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO BRASIL																			
Zona Bioclimática	Cidades	Orientação	Situação do Piso	Envolória- Paredes ext- Cobertura - Piso	Área Janelas	Vidro	Coletores Solares	Painéis Fotovoltaicos	Equipamentos										
ZB1	CURITIBA	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 2 $U=0,45W/m^2K$ $Ct=168,2kJm^2K$ $\alpha=0,65$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo- baixo emissivo TIPOLOGIA 2 $U=1,40W/m^2K$	2 coletores Inclinação 25°	11 painéis Inclinação 25° 1 inversor	1 ventilador de teto no quarto										
										ZB2	SANTA MARIA	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 3 $U=0,85W/m^2K$ $Ct=163,6kJm^2K$ $\alpha=0,65$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - baixo emissivo TIPOLOGIA 2 $U=1,40W/m^2K$	2 coletores Inclinação 29°	11 painéis Inclinação 29° 1 inversor	1 ventilador de teto no quarto
ZB3	SÃO PAULO	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 4 $U=0,95W/m^2K$ $Ct=163,2kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - baixo emissivo TIPOLOGIA 2 $U=1,40W/m^2K$	2 coletores Inclinação 23°	11 painéis Inclinação 23° 1 inversor	1 ventilador de teto no quarto										
										FLORIANOPOLIS	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 4 $U=0,95W/m^2K$ $Ct=163,2kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - baixo emissivo TIPOLOGIA 2 $U=1,40W/m^2K$	2 coletores Inclinação 27°	13 painéis Inclinação 27° 1 inversor	1 ventilador de teto no quarto	
																			BRASILIA
ZB5	NITEROI	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 6 $U=1,40W/m^2K$ $Ct=162,4kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - TIPOLOGIA 3 $U=2,70W/m^2K$	2 coletores Inclinação 22°	13 painéis Inclinação 22° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar										
										GOVERNADOR V.	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 6 $U=1,40W/m^2K$ $Ct=162,4kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - TIPOLOGIA 3 $U=2,70W/m^2K$	2 coletores Inclinação 18°	14 painéis Inclinação 18° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar	
																			GOIANIA
ZB6	CAMPO GRANDE	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 7 $U=1,78W/m^2K$ $Ct=131,8kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - TIPOLOGIA 3 $U=2,70W/m^2K$	1 coletor Inclinação 20°	11 painéis Inclinação 20° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar										
										MONTES CLAROS	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 7 $U=1,78W/m^2K$ $Ct=131,8kJm^2K$ $\alpha=0,2$ $\alpha=0,15$ cob	Inalterada	Vidoro Duplo - TIPOLOGIA 3 $U=2,70W/m^2K$	1 coletor Inclinação 17°	10 painéis Inclinação 17° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar	

PROJETO CASA EKÓ HOUSE PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO BRASIL									
Zona Bioclimática	Cidades	Orientação	Situação do Piso	Envoltória- Paredes ext- Cobertura - Piso	Área Janelas	Vidro	Coletores Solares	Painéis Fotovoltaicos	Equipamentos
ZB7	CUIABÁ	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 8 U= 3,09W/m <sup>2</sup> K Ct=70,6kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada norte e oeste menores 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 15°	12 painéis Inclinação 15° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	PALMAS	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 8 U= 3,09W/m <sup>2</sup> K Ct=70,6kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada norte e oeste menores 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 10°	14 painéis Inclinação 10° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	TERESINA	Fachada principal - Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 8 U= 3,09W/m <sup>2</sup> K Ct=70,6kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada norte e oeste menores 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 5°	15 painéis Inclinação 5° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	BELÉM	Fachada principal - Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 9 U= 2,26W/m <sup>2</sup> K Ct=101,2kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada Sul maiores do 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 1°	12 painéis Inclinação 1° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
ZB8	FORTALEZA	Fachada principal - Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 9 U= 2,26W/m <sup>2</sup> K Ct=101,2kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada Sul maiores do 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 3°	12 painéis Inclinação 3° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	MANAUS	Fachada principal - Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 9 U= 2,26W/m <sup>2</sup> K Ct=101,2kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada Sul maiores do 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 3°	12 painéis Inclinação 3° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	PORTO VELHO	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 9 U= 2,26W/m <sup>2</sup> K Ct=101,2kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada Sul maiores do 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 9°	14 painéis Inclinação 9° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
	RIO DE JANEIRO	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 6 U= 1,40W/m <sup>2</sup> K Ct=162,4kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Inalterada	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 22°	12 painéis Inclinação 22° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar
SALVADOR	Fachada principal - Norte Casa espelhada- Quarto para Leste	Em contato com o solo	TIPOLOGIA 9 U= 2,26W/m <sup>2</sup> K Ct=101,2kJm <sup>2</sup> K α = 0,2 α = 0,15 cob	Janelas Fachada Sul maiores do 50%	Vidoro simples - TIPOLOGIA 4 U= 5,80W/m <sup>2</sup> K	1 coletor Inclinação 13°	13 painéis Inclinação 13° 1 inversor	2 ventiladores de teto quarto e sala Jantar	

O resultado final permitiu, dessa forma, a criação, para as 20 cidades avaliadas, de uma *Ekó House* diferente, mas que, ao mesmo tempo em que encarna o espírito e o conceito de projeto da casa original, não perde o grande trabalho feito para a equipe da *Team Brasil*.



## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

A realização desta pesquisa surgiu pela importância da busca da eficiência energética nas edificações residenciais. No Brasil, como já relatado, mais de 23% da energia elétrica é consumida por edifícios residenciais. Por isso, a procura de habitações mais eficientes é fundamental para melhorar também as condições de conforto interno dos moradores. A *Ekó House* é um exemplo de casa altamente eficiente que utiliza estratégias e tecnologias avançadas para o melhor conforto interno. Quando o projeto da casa foi desenvolvido, o objetivo era projetar um edifício o mais eficiente possível para as condições climáticas na cidade da competição *Solar Decathlon*, em Madri, sem haver preocupação sobre a futura utilização da *Ekó House*.

O presente estudo buscou identificar o melhor desempenho energético da *Ekó House* no território brasileiro por meio de mudanças de projeto que permitiram uma maior eficiência energética da casa. Para fazer isso, foram usados 3 diferentes métodos de avaliação da habitação: o balanço energético, o método prescritivo do RTQ-R e o método de simulação do RTQ-R.

Primeiramente, a casa foi avaliada no seu projeto original. A aplicação das três metodologias mostrou como o desempenho da *Ekó House* é melhor nas zonas bioclimáticas mais frias: ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4. Por outro lado, nas cidades mais quentes, o desempenho da *Ekó House* não alcança uma *performance* energética tão boa, tendo um consumo anual superior de até 66% sobre a cidade com o melhor desempenho (Curitiba – ZB1) e a cidade com pior desempenho (Teresina – ZB7). Também na classificação final pelo método de simulação do RTQ-R, a *Ekó House* alcançou o nível A nas ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4, e o nível B nas ZB6, ZB7 e ZB8. Esse bom desempenho final da casa, mesmo nas zonas bioclimáticas mais quentes, foi obtido por meio do ótimo comportamento do sistema de aquecimento de água obtido pelos coletores solares. O sistema de coletores solares permite uma elevada economia de energia, que chega a ser superior a 1000 kW por ano na cidade de Curitiba. O método do balanço energético também evidenciou como a casa, em cidades da mesma zona bioclimática, obteve um balanço energético final diferente, seja pelo consumo ou pela produção de energia fotovoltaica. O sistema fotovoltaico, por sua vez,

permitiu que a casa se tornasse autossuficiente energeticamente, com uma produção de energia três vezes superior em relação à demanda de um casal em todas as 20 cidades. É importante ressaltar, no entanto, como esse sistema não é levado em conta na avaliação da casa pelo método do RTQ-R. O sistema fotovoltaico poderia melhorar, dessa forma, a classificação final da *Ekó House* se, por exemplo, o uso de fonte de energias alternativas fosse considerado nas bonificações do RTQ-R.

Uma sugestão desta pesquisa é incluir na avaliação da eficiência energética dos edifícios residenciais, por meio do RTQ-R, os sistemas fotovoltaicos como bonificação, a fim de incentivar a instalação de tecnologias renováveis nas habitações brasileiras.

Na primeira parte da avaliação da casa, a comparação dos resultados entre o método prescritivo do RTQ-R e o método de simulação do RTQ-R não permitiu uma fácil leitura dos resultados obtidos, enquanto que no método prescritivo, o pré-requisito da envoltória não foi alcançado, baixando o nível da classificação final. Sem o pré-requisito da envoltória, a classificação energética da casa nos dois métodos do RTQ-R resultou ser muito parecida. Esse aspecto pode ser considerado em uma futura revisão do regulamento do método prescritivo do RTQ-R, fim de eliminar o pré-requisito da envoltória, já que esse é um parâmetro pesado que entra na avaliação.

Os primeiros resultados demonstraram que a casa, projetada para enfrentar climas frios, com o grande isolamento térmico da envoltória da edificação, apresenta um ótimo desempenho. Por outro lado, em cidades situadas em zonas bioclimáticas mais quentes, o desempenho da *Ekó House* não foi tão satisfatório, devido a um maior consumo para resfriamento da edificação e manutenção do conforto interno.

As alterações projetuais foram escolhidas a fim de diminuir o consumo e melhorar a eficiência dos sistemas solares da casa. Com as entrevistas com três membros da equipe, a avaliação das normas brasileiras em matéria de eficiência energética e a análise bioclimática de cada cidade foi possível alterar o projeto original da casa. As normas brasileiras, em matéria de desempenho térmico de edificações residenciais, evidenciam incongruências entre si, não permitindo uma fácil leitura e aplicação nas alterações finais. Já as entrevistas resultaram ser fundamentais para se entender quais elementos da casa não poderão ser alterados a fim de que não se altere o conceito original da *Ekó*

*House*. Assim, os elementos de brise em bambu, o *layout* da cozinha e a varanda externa foram mantidos para se manter inalterada a ideia de base do projeto. Enfim, a avaliação bioclimática das 20 cidades brasileiras foi também fundamental para entender o clima de cada cidade e apontar as mudanças projetuais mais apropriadas da casa para cada lugar.

Os resultados da avaliação da *Ekó House* com as mudanças de projeto, por meio das três metodologias usadas, demonstraram que as alterações projetuais permitiram melhorar a eficiência energética da casa. Assim, a análise da habitação com o método do balanço energético evidencia que, com as mudanças de projeto, conseguiu-se reduzir o consumo em até 20% nas cidades das zonas bioclimáticas mais quentes, o que equivale a um menor consumo do sistema de condicionamento de ar em 30%. Esse ótimo resultado não é tão evidente nas cidades mais frias, onde, por exemplo, em Curitiba, a redução do consumo apresentou-se pouco superior a 5%. No método prescritivo do RTQ-R e no método de simulação do RTQ-R, houve a confirmação de que a *Ekó House* obteve uma melhor classificação final, obtendo o nível A em todas as 8 zonas bioclimáticas. Além disso, as mudanças de projeto permitiram alcançar o nível A na certificação da envoltória em todas as zonas bioclimáticas, com exceção à ZB 6.

A alteração da inclinação do telhado, para melhorar a eficiência energética do sistema fotovoltaico, não trouxe os resultados esperados, aprimorando a produção de energia em poucas centenas de kW/h por ano em todas as cidades avaliadas. Nas cidades de Florianópolis e Santa Maria, a melhorada eficiência energética do sistema fotovoltaico resultou em 2% de energia a mais do que antes das alterações.

Este estudo demonstrou que para melhorar a eficiência energética da *Ekó House*, foram suficientes simples mudanças projetuais, alterações da envoltória, mudanças nas aberturas, aplicação de ventilador de teto etc. Tais mudanças permitiram melhorar o desempenho energético da casa *Ekó House* no Brasil, sem alterar o projeto original do edifício. A obtenção da melhor eficiência energética é mais evidente nas cidades mais quentes do Brasil, onde a adaptação do projeto original da casa foi pior, por causa do elevado consumo do sistema de condicionamento de ar. Nas alterações da envoltória, foram mantidos e usados os materiais presentes no projeto original para releitura do projeto mais facilitada. Os sistemas solares, por sua vez,

apresentaram-se de fundamental importância para a autossuficiência energética da edificação e para a redução do consumo. Assim, na pesquisa, foi evidenciado como os 48 módulos fotovoltaicos instalados na cobertura, estavam superdimensionados para as exigências de consumo do casal. De fato, na cidade de Teresina, com o maior consumo, o número de módulos úteis para satisfazer as exigências dos moradores será de 15 módulos fotovoltaicos. Nas cidades de Brasília, Goiânia e Montes Claros, onde a produção de energia é mais elevada e os consumos costumam estar na média das cidades brasileiras avaliadas, será suficiente instalar 10 módulos fotovoltaicos na cobertura da *Ekó House*. Os coletores solares também se apresentaram fundamentais para a redução do consumo da casa. Como o sistema fotovoltaico, também os 4 coletores solares estavam superdimensionados para as exigências dos moradores durante o ano todo. Assim, nas zonas bioclimáticas mais frias (ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4), 2 coletores solares são suficientes para o consumo de água quente na casa, e nas outras cidades, a presença de um só coletor garantirá o fornecimento de água quente durante o ano todo.

Como demonstra a avaliação da *Ekó House* com e sem as alterações de projeto, por meio dos métodos do RTQ-R, a casa obteve um ótimo desempenho na classificação da envoltória com ambiente resfriado. Esse dado é fundamental, e, por meio dele, pode-se compreender porque a *Ekó House* é uma edificação projetada para funcionar com um sistema de refrigeração. Esse aspecto está fortemente ligado com a competição do *Solar Decathlon*, que prevê parâmetros de conforto interno da casa muitos elevados, para que possam ser alcançados somente com a utilização de ar condicionado. Entretanto, as mudanças de projeto propostas não alteraram esse comportamento da casa, enquanto a envoltória que constitui a casa (ANEXO 2) apresentou uma baixa inércia térmica. Uma possível solução é mudar os materiais que compõem o invólucro do edifício nas zonas climáticas, onde a massa térmica é um elemento característico da arquitetura bioclimática do lugar.

Esses resultados demonstraram que a *Ekó House* é uma casa de difícil reprodução, não somente pelos custos elevados, mas também pelo conceito de projeto original da casa, que é focado principalmente na utilização de um sistema de refrigeração. Isso se deve, principalmente, ao escopo do projeto, que é garantir o melhor desempenho no *Solar Decathlon*, onde as habitações apresentam um nível de eficiência e de produção de energia além do necessário. Fazendo uma comparação, o

*Solar Decathlon* representa para as casas o que a Fórmula 1 representa para os carros, pois, assim como os automóveis que conseguem alcançar 300 km/h nunca serão usados cotidianamente, também as casas que produzem 4 vezes a própria energia consumida ou têm um isolamento térmico além do necessário, são de difícil colocação no mercado imobiliário. É evidente que o objetivo do *SDE* é aprimorar as pesquisas acerca de edifícios residenciais mais eficientes, para a futura instalação dessas tecnologias (de maneira mais reduzida, claro) nas habitações comuns.

Desse modo, nesta pesquisa, foi reutilizada uma edificação altamente eficiente projetada para uma competição internacional em um contexto climático completamente diferente das condições climáticas da cidade de Madri. Os resultados obtidos demonstraram que o objetivo do *SDE* e as exigências de edifícios residenciais mais eficientes no Brasil não concordam plenamente, tendo formas diferentes de atingir a eficiência energética nas edificações. Por outro lado, as duas maneiras de interpretar a eficiência energética podem ser usadas de forma conjunta, a fim de aprimorar a eficiência energética nas edificações brasileiras.

## 5.2 LIMITAÇÕES

A pesquisa limitou-se a criar alterações de projeto a partir do modelo inicial da *Ekó House*. As alterações poderiam ser feitas com materiais diferentes, com características térmicas diferentes, para depois serem comparados entre si, afim de fosse identificada qual seria a melhor solução.

## 5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante do exposto neste trabalho, podem surgir outros temas que venham a ampliar as pesquisas sobre a casa *Ekó House*. Algumas sugestões para tais trabalhos são listadas a seguir:

- Análise de custo da casa e das mudanças de projeto para cada zona bioclimática.
- Fazer adaptações de projeto com materiais típicos do lugar onde a casa foi simulada, além dos materiais usados no projeto original.
- Avaliação paramétrica de cada alteração projetual, a fim de

determinar e verificar a importância de cada adaptação na eficiência energética final da casa nas diferentes zonas bioclimáticas.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR 10899**: Conversão fotovoltaica de energia solar. Rio de Janeiro, 1988.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto- Projeto e Instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2010.

ABRAVA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. 2009. Disponível em: <[www.abrava.com.br](http://www.abrava.com.br)>. Acesso em: 15 maio 2012.

POUEY, Al-Alam, *et al.* **Determinação da eficiência energética da envoltória de projeto residencial unifamiliar comparando os resultados a partir da aplicação dos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-R.** ENTAC, 2012.

ANDRADE, J.; AMORIM, C. **Avaliação do nível de eficiência energética da envoltória em edificações multifamiliares em Brasília.** ELAC, 2011.

ANDRADE, Suely Ferraz. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis.** 1996. Dissertação (Mestrado em ) – Programa de Pós-Graduação em da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

ANEEL. **482/2012**: Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

ASHRAE Standard 55-2010. **Thermal Environmental Conditions for**

**Human Occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.

BEN – Balanço Energético Nacional. 2012. Disponível em:  
<[www.ben.epe.gov.br](http://www.ben.epe.gov.br)>. Acesso em: 14 maio 2012.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares:** diretrizes para arquitetos. 4. ed. rev. e amp. Maceió: EDUFAL, 2004. 109 p.

BODACH, Susanne; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v. 38, p.7898-7910. 2010.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 53, de 27 de fevereiro de 2009.** Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). 2009b. Disponível em:  
<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001424.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010.** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), 2010b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), 2012 [online]. Disponível em:<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads/regulamentos>.

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, Vento & Luz:** Estratégias para o projeto de Arquitetura. Trad. de Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 415 p.

CANOPEA. Disponível em: <<http://www.solardecathlon.fr>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 2002-2008. 2008.

CARTANA, Rafael Prado. **Oportunidades e Limitações para Bioclimatologia Aplicada ao Projeto Arquitetônico**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CHAVES, Jose Roberto Garcia. Hacia una arquitectura comfortable, saludable y sustentable con base en la utilización de energías renovables. In: Congreso Latinoamericano sobre Confort y Comportamiento Térmico de las Edificaciones – Volumen I, 4., 2005, Ciudad de México. **Anais...** Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2005.

CHIOU, Yun-Shang *et al.* A high spatial resolution residential energy model based on American Time Use Survey data and the bootstrap sampling method. **Energy and Buildings**, v. 43, p.3528-3538. 2011.

CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation. **Energy and Buildings**, v. 22, p. 319-331. 2001.

DENG *et al.* Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 2455-2460. 2011.

FEDRIGO, S. N. *et al.* Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro. **Relatório de Iniciação Científica**, 2009.

FERNANDES, Pierre. **Integração das Diretrizes Energéticas no Processo de Concepção Arquitetônica.**” Artigo In Arquitetura Pesquisa e Projeto. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FOSSATI, M. *et al.* A eficiência energética em edificações e a regulamentação brasileira. **Revista Brasileira de Eficiência Energética**, 2010.

GIULIANO DALL'O' *et al.* An Italian pilot project for zero energy buildings: Towards a quality-driven approach. **Renewable Energy**, v. 50, p. 840-846. 2013.

GARRIDO-SORIANO, Nuria *et al.* Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study. **Energy and Buildings**, v. 49, p.119-125. 2012.

GIANNAKIS, G. I. **A model-assisted adaptive controller fine-tuning methodology for efficient energy use in buildings. In: MEDITERRANEAN CONFERENCE ON CONTROL AND AUTOMATION AQUIS CORFU HOLIDAY PALACE, 19., 2011, Greece. Anais...** Greece: Corfu, 2011.

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design.* Van Nostrand Reinold, 1998.

GHISI, EneDIR *et al.* Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, p. 4107-4120. 2007.

GLASS, Bryan *et al.* Expanding Horizons with Chameleon: Team Missouri's Innovative Home Automation System. **Energies**, v. 3, p. 1142-1153. 2010.

GRALA DA CUNHA, E. (Org.). **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural: Método projetual buscando a eficiência energética nas edificações.** 2. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006.

GRATIA, Elisabeth; DE HERDE, André. Design of low energy office buildings. **Energy and Buildings**, Oxford, v. 35, p. 473-491. 2003.

GRIEGO, D. *et al.* Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. **Energy and Building**, v. 54, p. 540-549. 2012.

HENRY, Robert *et al.* **Design and Performance Evaluation of the BeauSoleil Solar Decathlon House**. 2009.

HERNANDEZ, Patxi; KENNY, Paul. Zero Energy Houses and Embodied Energy: Regulatory and Design Considerations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SUSTAINABILITY, 2008. **Anais...** p. 305-312 p.

HIM, P.; KRARTI, M. Design optimization of energy efficient residential buildings in Tunisia. **Building and Environment**, v. 58, p. 81-90. 2012.

HIROSHI *et al.* Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China. **Energy and Buildings**, v. 38, p.1308-1319. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <[www.ibge.org.br](http://www.ibge.org.br)>. Acesso em :13 jun. 2012.

IEA – International Energy Agency. Disponível em: <[www.iea.org](http://www.iea.org)>. Acesso em: 13 jun. 2012.

ISO Standard 7730. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Geneva International Standards Institution, 2005.

JOHN, Vanderley. Não estamos preparados para a eficiência energética. **FINESTRA**, São Paulo, nº 55, dezembro. 2008.

JANNUZZI, G.M.; SCHIPPER, L. The structure of electricity demand in the Brazilian household sector. **Energy Policy**, v. 19, n. 9, p. 879-891. 1991.

KOS, J. R. Solar Decathlon: uma relevante alternativa para o ensino e a pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2010. **Anais...**

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2. ed. São Paulo: PW, 2004. 188 p.

LAMBERTS, Roberto; WESTPHAL, Fernando. **Energy efficiency in Buildings in Brazil**. Costruction and Environment:from theory into practice. São Paulo: CIB/PCC/USP, 2000.

LECHNER, Norbert. **Heating, Cooling, Lighting**: sustainable design methods for architects. 3. ed. New Jersey: Wiley, 2008. 698 p

LIMA, G. *et al.* **Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Parnamirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R**. ENTAC, 2012.

LOURA, M. R. *et al.* **Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras**. ENCAC, 2011.

LUMENHAUS. Disponível em: <<http://www.solar.arch.vt.edu/>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MACIEL, Alexandra. **Integração dos Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico**. 2006. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACIEL, A. A. *et al.* Projeto Casa Eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11. 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2006.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 315 p.

MARIN, P.; AMORIM, C. **Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha**: uma análise baseada no RTQ-R..ENTAC, 2012.

- MARSH, Rob; LAURING, Michael. Architecture and energy: questioning regulative and architectural paradigms for Danish low-energy housing. **Architectural Research Quarterly**, Cambridge, v. 15, n. 2, p. 165-175. 2011.
- MATEUS, Tiago; OLIVEIRA, Armando. Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates. **Applied Energy**, v. 86, p.949-957. 2009.
- MASCARÓ, Lúcia E. R. (Coord.). **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Sagra/DC Luzzatto, 1992.
- MAZOUZ, S.; ZEROUALA, M. S. The integration of environmental variables in the process of architectural design: The contribution of expert systems. **Energy and Buildings**, Oxford, v. 33, p. 699-710. 2001.
- MEIRIÑO, M. **Projeto arquitetônico deve incorporar elementos de eficiência energética**. Projeto Design, 2004.
- MILLER at al. Performance evaluation of eight contemporary passive solar homes in subtropical Australia. **Building and Environment**, v. 56, p.57-68. 2012.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional 2011**: Ano base 2010. Empresa de pesquisa energética (Brasil). Rio de Janeiro: EPE, 2010. 276 p. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 30 jan. 2011.
- NASPOLINI, H. F.; MILITAO, H. S. G.; RUTHER, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 2835-2845. 2010.
- NASPOLINI, H.F.; RUTHER, R. Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil. **Renewable Energy**, v. 48, p. 92-99. 2012.

OLGYAY, Victor. **Arquitetura y Clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 5. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2008. 203 p.

OSBORNE, Anna; BAUR, Stuart; GRANTHAM, Katie. Simulation Prototyping of an Experimental Solar House. **Energies**, , v. 3, p. 1251-1262. 2010.

PARKER, S. Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 512-520. 2003.

PEREIRA, Iraci; ASSIS, Eleonora. **Procedimentos para o mapeamento do consumo de energia do setor residencial**. Búzios: ENCAC, 2011.

PÉREZ LOMBARD, L. *et al.* A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, , v. 41, n. 3, p. 272-278. 2009.

PROJECT MANUAL SOLAR DECATHLON EUROPE – TEAM BRASIL, 2012.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 2012 [*online*]. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/pci/data/Pages/LUMISA84BD56DPTBRIEGUEST.htm>. Acesso em: 21 maio 2012.

RAFFNEL, Yoann *et al.* **Integrated solar heating systems**: From initial sizing procedure to dynamic simulation. **Solar Energy**, v. 83, p. 657-663. 2009.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC, 2012.

RÜTHER, Ricardo; SALAMONI, Isabel. **O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações**. 2011. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/>. Acesso em: 4 maio 2012.

SUSANNE BODACH, J. Hamhaber. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v. 38, p. 7898-7910.

SDE – SOLAR DECATHLON EUROPE. 2012. Disponível em: <[www.sdeurope.org](http://www.sdeurope.org)>. Acesso em: 20 jun. 2012.

SOLAR DECATHLON EUROPE. **Rules**. 2012. Disponível em: <>. Acesso em: 20 jun. 2012.

THIERS, Stéphane; PEUPOORTIER, Bruno. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. **Building and Environment**, v. 51, p.276-284. 2012.

MATEUS, Tiago; OLIVEIRA, ARMANDO C. Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates. **Applied Energy**, v. 86, p. 949-957. 2009.

U.S. DEPARTEMENT OF ENERGY. Disponível em: <<http://energy.gov/>>..Acesso em: 30 jun. 2012.

VAN DER BORG; WIGGELINKHUIZEN. **Building integration of photovoltaic power systems using amorphous silicon modules: irradiation losses due to non-conventional orientations**”. ECN Report ECN-C-01-068., 2001.

VISILLA, A. M. Bioclimatic lessons from James C. Rose’s architecture. **Building and Environment**, v. 44, p.1758-1768 . 2009.

YANG, Xiangqun; GAO, Hui. **Energy and Environment strategy of a Chinese prototype of Solar House**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER DISTRIBUTED CONTROL AND INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING, 2011. **Anais...**

YOSHINO H. *et al.* Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China. **Energy and Buildings**, v. 38, p.1308-1319. 2006.

YAO, Jian. Energy optimization of building design for different housing

units in apartment buildings. **Applied Energy**, v. 94, p.330-337. 2012.

WANG, Na *et al.* A marketable all-electric solar house: A report of a Solar Decathlon Project. **Renewable Energy**, v. 39, p. 2860-2871. 2009.

WASSMER, Michael *et al.* The simulation of a zero-energy residential building for the solar decathlon competition. In: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY CONFERENCE, 1., 2003, Hawaii. **Anais...** Hawaii: 2003.

WATSON, Donald; LABS, Kenneth. **Climatic Building Design: energy-efficient building principles and practice.** New York: McGraw-Hill, 1983. 288 p.



## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1 – ENTREVISTAS

#### A) Professora Thêmis da Cruz Fagundes, Dra.

1 – Junto com o Professor Kos, somos os idealizadores do Projeto. Tudo nasceu na disciplina de Projeto IV, no segundo semestre de 2008. Junto com a turma de 2008, participamos da seleção do *Solar Decathlon*, no Brasil, em 2008, com o objetivo de participar do *Solar Decathlon* de 2010, obtendo o primeiro lugar.

Tentamos juntar todas as equipes das outras universidades brasileiras para chegar no projeto final da casa. Começamos a trabalhar duramente para conseguir participar da competição em Madri, em 2010.

Por meio de um trabalho em equipe, conseguimos ir em frente com o projeto, chegando a uma solução projetual definitiva: casa SOLARFLEX.

Participamos de quase todas as entregas para poder competir em Madri, mas por falta de recursos e pouco tempo, no final, fomos obrigados a desistir.

O comitê organizador do *Solar Decathlon*, mesmo assim, convidou-nos a participar da competição em 2012. Um grupo de alunos, então, foi para Madri ver de perto a competição, trazendo muitas informações para participarmos da competição 2 anos depois.

Continuamos a trabalhar em cima do projeto, que foi mudado para que pudessemos participar da competição no ano passado. Conseguimos, também, os recursos necessários para construir a casa e chegar em Madri, participando da competição o ano passado.

2 – A relação entre o projeto da casa e o regulamento da competição é total. A casa, na realidade, é só uma pequena parte do processo que é o *Solar Decathlon*.

Na realidade, o regulamento do *Solar Decathlon* deixa bastante liberdade na projeção. A inovação do regulamento também não amarra, visto que as provas da competição são divididas entre provas objetivas e subjetivas.

3 – Tendo presente que na minha experiência do *Solar Decathlon* o meu foco não foi especificamente o projeto da casa, mas mais a parte administrativa da organização. É importante destacar que o *Solar Decathlon* não é só uma casa, é muito mais.

Eu mudaria o processo de projeto. Sugeriria uma interação com as diferentes partes envolvidas no projeto, e isso pode ser feito com uma plataforma tecnológica, como o *Revit*, que permite isso, também, como forma de documentar o processo.

4 – Sim. No começo, a ideia inicial era uma casa para desabrigados, uma casa que pudesse ser localizada em lugares em condições de dificuldade, tudo isso porque a casa é facilmente transportável. Com o passar do tempo, o foco inicial mudou um pouco e pensamos em localizar a casa em Paraty, como forma, inclusive, de ajudar a comunidade.

5 – Um dos conceitos iniciais do projeto era a casa dos pescadores. Por isso, a varanda é o elemento que traz o contato da casa com a natureza. Outro elemento da arquitetura brasileira é o bambu, usado também na arquitetura indígena, além da madeira.

6 – O bambu, com certeza, foi uma escolha para as áreas litorâneas do país. Nas cidades mais frias, o bambu poderia ser usado de forma diferente.

7 – Não muito boa. Também porque na hora de construir a casa, foi perdido um pouco do conceito inicial da casa ao pensar só na construção. Era fundamental o recurso da simulação na hora de definir o projeto. Isso teria ajudado, também, a verificar o real desempenho da casa no Brasil.

8 – A essa pergunta, não podemos responder. Novamente, o recurso das simulações do desempenho da casa na hora de projeto poderia ter respondido a essa pergunta, verificando as alterações necessárias para o nosso clima.

9 – O que mais influencia a eficiência energética, na minha maneira de ver, é o usuário. Com certeza, a casa necessita de revisões para ser implantada no Brasil. Uma das estratégias que poderia ser melhorada é o sistema de ventilação cruzada.

10 – Como falamos antes, os elementos que definem a casa são o bambu e a varanda que circunda a casa. Internamente, o *design* da cozinha é um elemento fundamental que define o espaço interno.

A cobertura está precisando de ajuste, já que na hora da construção não foi observado o projeto. No interior da casa, o elemento central fica perdido e poderia ser eliminado para redefinir o *layout* da casa.

B) Professor José Ripper Kós, Dr.

1 – Tudo começou quando o comitê organizador do *Solar Decathlon* convidou o Brasil a participar da competição de 2010, em Madri. Participaram seis universidades brasileiras, entre elas: a Universidade Estadual de São Paulo (USP), a Universidade Federal de Minas Gerais (UGMG), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRG) e a Universidade Federal do Rio De Janeiro (UFRJ).

Foi feito um concurso entre as universidade para escolher a faculdade que iria participar do projeto final para o *Solar Decathlon*. No final, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) ganhou e, conseqüentemente, começou o processo para a participação no *SDE*. Eu e outros professores fomos os organizadores para participar da competição em Madri.

2 – A *Ekó House* é o fruto do regulamento da competição. O projeto é baseado nas regras do *SDE* para ter uma uniformidade nas casas competidoras. Assim, envelope, área, sistemas solares usados e muito mais são o fruto dessa interação entre ideias sobre projeto e regulamento.

3 – O projeto da casa é fruto de uma situação já existente. Quando, em 2010, tentamos participar da competição, mas infelizmente não conseguimos, o projeto já estava pronto e com toda a estrutura da casa. Por isso, o projeto que foi realizado e participou da competição foi uma adaptação do projeto antigo, seguindo o novo regulamento para a competição de 2012. Dessa forma, falar de mudanças projetuais depois da experiência da competição é algo difícil.

4 – O Brasil tem uma extensão territorial que dificulta a divulgação do projeto da casa que participou do *SDE* e de sua utilização aqui. Com certeza, existem elementos da casa que podem muito bem se adaptar no Brasil, como as estratégias de sombreamento. A casa tem pouca massa

térmica e com certeza esse pode ser um elemento bem aproveitado para alguma área climática brasileira.

5 – O elemento que mais representa a arquitetura brasileira é o sombreamento em bambu. Junto com ele e o *layout* interno da casa, a interação da cozinha com a sala de jantar evidencia um traço típico da cultura brasileira. No entanto, essa ideia foi fruto das mudanças projetuais entre a primeira versão da casa (*Solar Flex*) que foi adaptada para participar do SDE em 2012.

6 – Com certeza, os elementos em bambu para o sombreamento da casa representam uma solução excelente para diminuir e regular o ganho de calor interno feito por radiação solar direta.

7 – É difícil falar em qual região do Brasil a casa vai ter um desempenho energético melhor ou pior. Com certeza, podemos afirmar que existem elementos de projeto usados na *Ekó House* que são pouco utilizados na arquitetura brasileira, como o grande isolamento térmico e o sombreamento.

8 – Existem muitas coisas do projeto da *Ekó House* que são fruto, como já foi discutido, do projeto antigo da casa e que poderiam ser mudadas para se adaptar ao clima brasileiro. Como exemplo, podem ser citadas, uma melhor ventilação cruzada com uma mudança das aberturas e também uma mudança nas varandas da casa.

9 – Com a experiência do *SDE*, percebemos que o sistema de ar condicionado foi superdimensionado, gerando um consumo muito grande na competição, onde se obteve uma classificação final muito ruim no consumo de energia. Por outro lado, a casa atingiu um bom desempenho na prova de conforto. Com certeza, elementos de estratégias passivas são fundamentais para melhorar o desempenho da casa, inclusive por meio daquelas estratégias que se perderam no projeto final, como o sistema para o efeito chaminé.

10 – Mais do que falar de elementos que não poderão ser mudados, eu falaria de materiais, que, na minha opinião, poderão ser reutilizados no projeto de adaptação da casa no Brasil.

C) Arquiteto Rovy Pinheiro Pessoa Ferreira.

1 – Comecei a participar do projeto em janeiro de 2011. O processo de elaboração do projeto foi iniciado com a adaptação da casa *Solar Flex*, com o regulamento do *SDE* para participar da competição em 2012.

A ideia, então, era tentar adaptar uma casa *hi-tech* com uma casa mais com a cara do Brasil. E assim que foram definidas e projetadas as varandas que circundam a casa, o uso do bambu como elemento de sombreamento também foi repensado para o espaço interno.

2 – A relação entre o projeto e o regulamento do *SDE* é muito grande. No projeto da *Ekó House*, tinha de ser aplicado o regulamento para a casa pudesse ser inscrita na competição. Da mesma forma como o regulamento tem essa grande importância, por outro lado, ele não é 100% rígido.

No projeto, cabe lembrar, o regulamento tem grande importância, assim como, ao mesmo tempo, a expressão “arquitetônico” tem de tentar se adaptar expressando os conceitos da arquitetura. Essa relação entre regulamento e projeto é uma expressão da realidade, em que, para projetar qualquer edifício, você tem de enfrentar regras.

3 – Primeiro a organização da equipe. A tomada de decisão foi complexa por falta de uma hierarquia entre os vários componentes da equipe.

Arquitetonicamente falando, adaptar a casa de um projeto já existente não facilitou as coisas. Um exemplo são as aberturas que ligam a varanda com o espaço interno da casa.

4 – Foi pensado, mas de forma muito marginal. Também porque o foco da competição e, conseqüentemente do projeto, é participar da competição em Madri, sendo difícil adaptar um projeto de uma “casa europeia” para o contexto nacional.

5 – Entre os elementos de arquitetura brasileira presentes na casa, com certeza um deles é a varanda, importante espaço de socialização.

Outro elemento é, com certeza, a cozinha da casa, que cria um ambiente central e de convivência, típico da cultura brasileira. Por fim, os materiais utilizados no projeto, entre eles o bambu, que mesmo não sendo um material usado na arquitetura moderna brasileira, é um

elemento rústico que pode ter uma releitura da arquitetura mais vernácula.

6 – Com certeza, o bambu é um elemento de proteção solar que pode se adaptar bem ao clima brasileiro. Ao mesmo tempo, é um material sustentável que pode ser facilmente plantado. Outro elemento que bem poderia se adaptar ao território brasileiro é o sistema de ventilação natural, que infelizmente não foi aplicado na realização da casa. Outros elemento que com certeza bem poderiam ser usados no Brasil são os sistemas solares, que ajudaria a minimizar o consumo da casa.

7 – Por um lado, a casa, por meio do sistema fotovoltaico, terá uma grande produção de energia. Como já foi refletido, a casa não é projetada para o Brasil, e, por isso, a arquitetura usada não representa a arquitetura climática brasileira. Com certeza, uma implementação das estratégias passivas seria a ventilação cruzada.

8 – Para que a casa possa ter um desempenho melhor no Brasil, deveriam ser repensadas as estratégias e tecnologias usadas. Manter o sistema de pré-fabricação da casa, é um tema interessante e de fácil reprodução na casa. Uma implementação das estratégias passivas ajudaria com um melhor comportamento da *Ekó House*.

9 – Essa pergunta é diretamente ligada com a resposta precedente. O uso de sistemas passivos, com uma melhor ventilação natural, ajudaria a melhorar a eficiência energética da casa. O isolamento térmico da envoltória também é outro elemento de grande importância na sua eficiência energética, pois, ao mesmo tempo, tenta minimizar o consumo do ar condicionado diminuindo a área interna condicionada.

10 – Mais do que falar de conceito original da casa, falaria da ideia de projeto da casa, que não deverá ser alterado. Nessa ideia de projeto da casa, os elementos que não mudaria são principalmente três:

- a varanda, como elemento de proteção solar e, ao mesmo tempo, como elemento de interação entre espaço interno e externo, melhorando essa relação;

- a persiana na fachada norte, como elemento de sombreamento, mas que pode ser manual e não automatizada para envolver mais o usuário na interação com a casa; e

- os elementos de sombreamento em bambu, que podem ser mudados na tipologia de material, utilizando materiais locais na região de projeção da casa.

## 7.2 ANEXO 2 – ENVÓLTORIA

### 7.2.1 Paredes externas, cobertura e piso

Tipologia 1 (Projeto Original):  $U = 0,22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 112,75 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   
 $\alpha = 0,65$   $\alpha = 0,15$  cobertura.

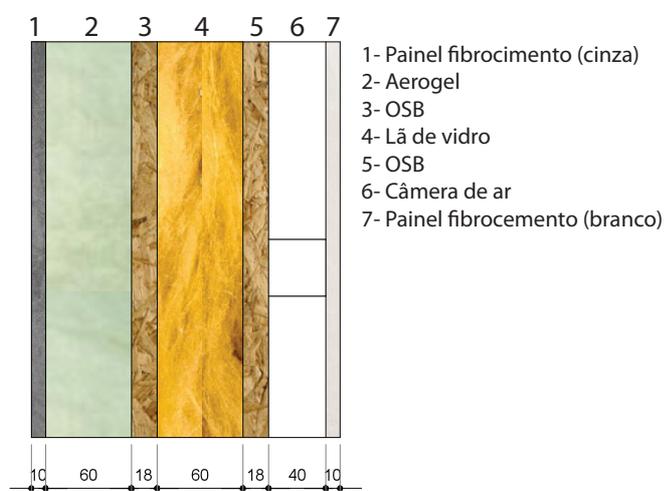


Figura 74 – Envoltória na tipologia 1.

Tipologia 2:  $U = 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 168,2 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,65$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.

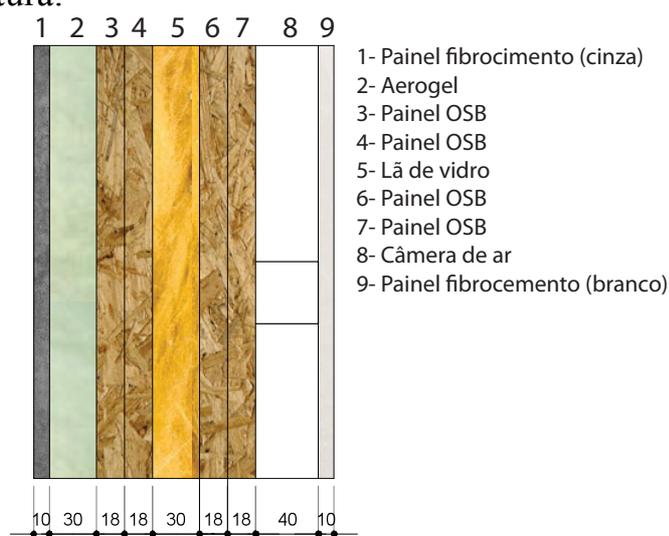
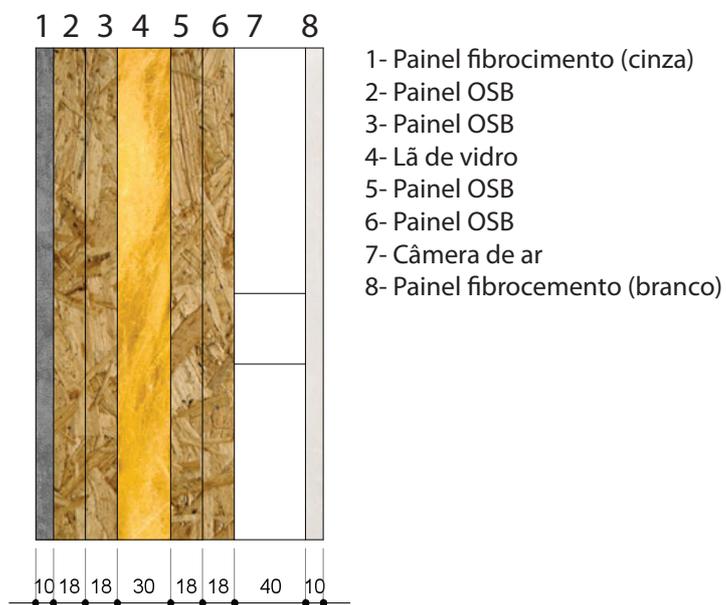


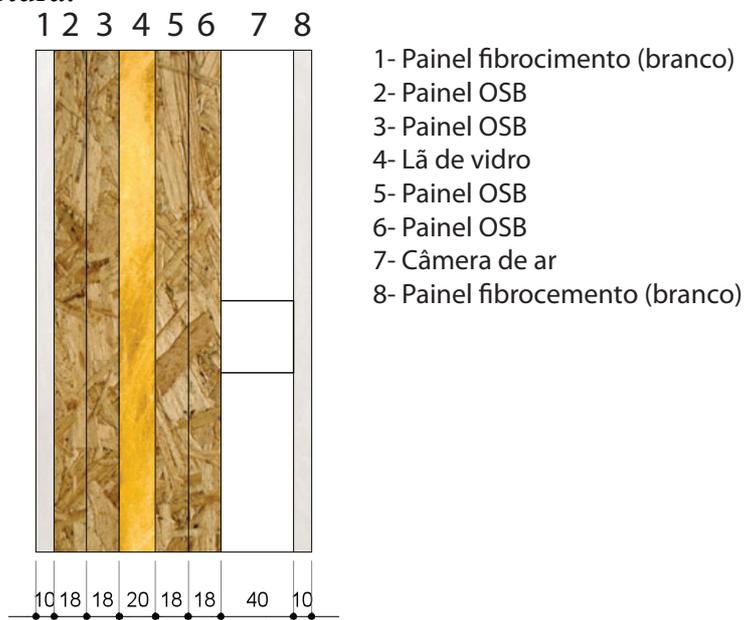
Figura 75 – Envoltória na tipologia 2.

Tipologia 3:  $U = 0,85 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 163,6 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,65$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.



**Figura 76 – Envoltória na tipologia 3.**

Tipologia 4:  $U = 0,95 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 163,20 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,2$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.



**Figura 77 – Envoltória na tipologia 4.**

Tipologia 5:  $U = 1,07 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 162,80 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,20$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.

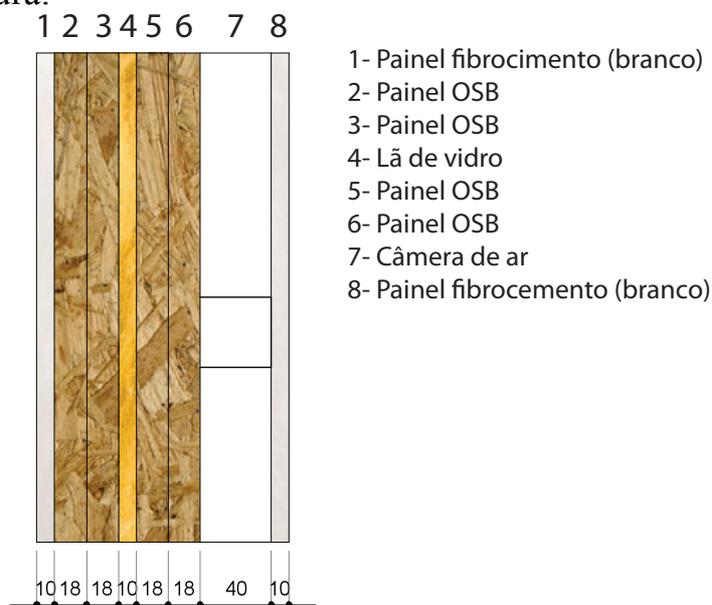


Figura 78 – Envoltória na tipologia 5.

Tipologia 6:  $U = 1,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 162,40 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,20$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.

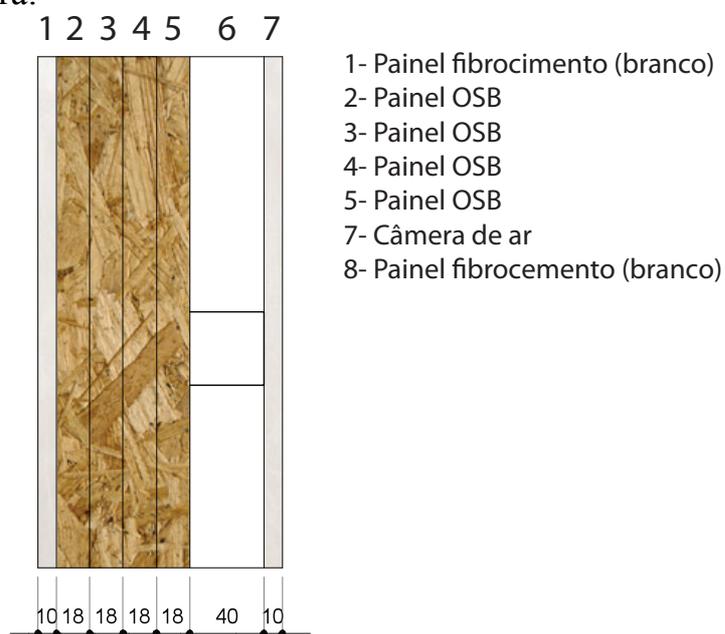
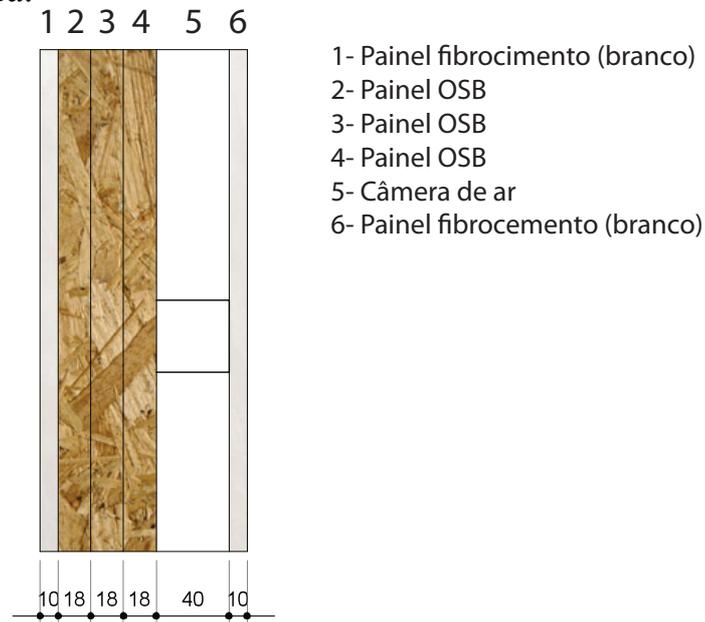


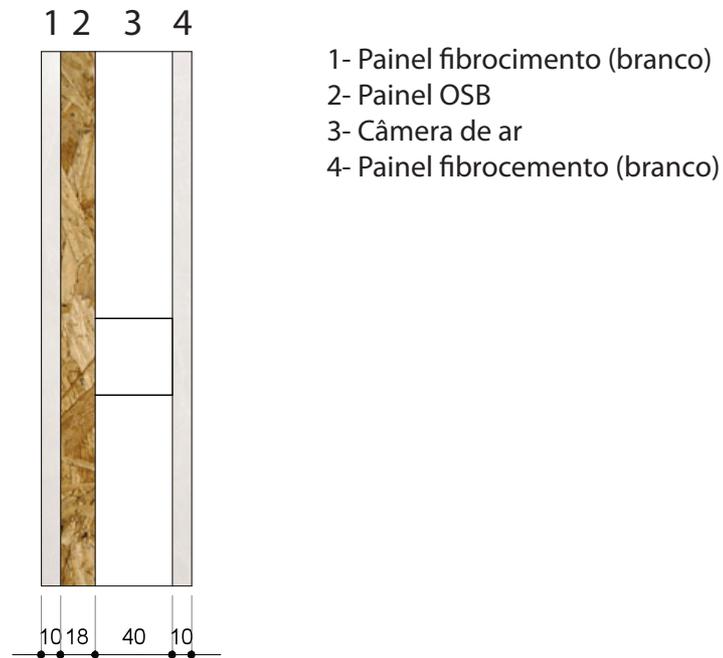
Figura 78 – Envoltória na tipologia 6.

Tipologia 7:  $U = 1,78 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $C_t = 131,80 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,20$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.



**Figura 80 – Envoltória na tipologia 7.**

Tipologia 8:  $U = 3,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $C_t = 70,60 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,20$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.



**Figura 81 – Envoltória na tipologia 8.**

Tipologia 9:  $U = 2,26 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  :  $Ct = 101,20 \text{ kJm}^2 \text{ K}$   $\alpha = 0,20$   
 $\alpha = 0,15$  cobertura.

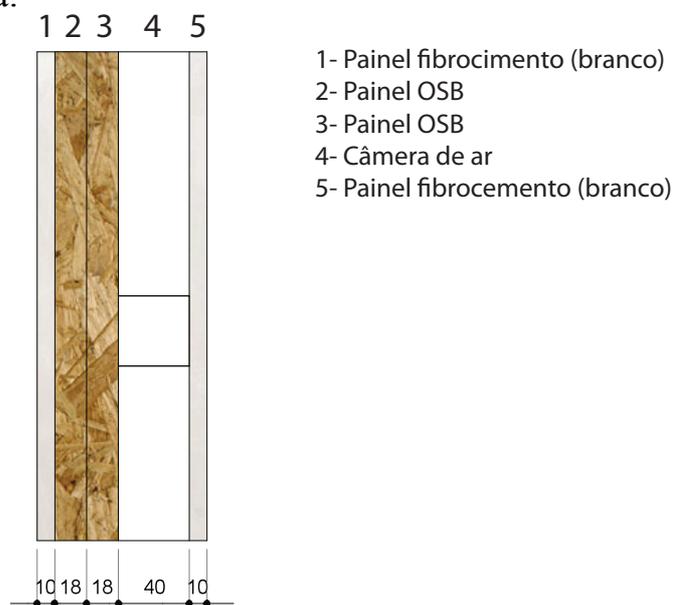


Figura 82 – Envoltória na tipologia 9.

## 7.2.2 Vidro Aberturas

Tipologia 1 (Projeto Original):  $U = 1,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

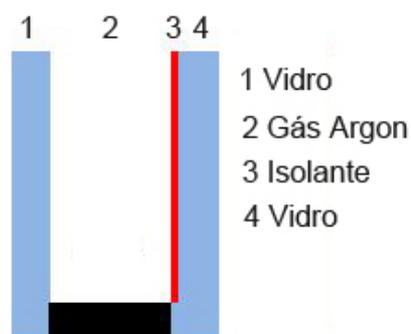


Figura 83 – Vidro na tipologia 1

Tipologia 2:  $U = 1,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

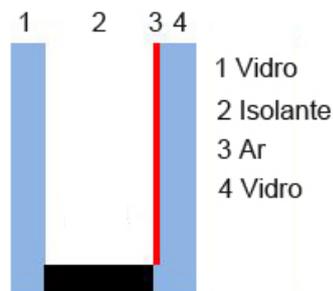
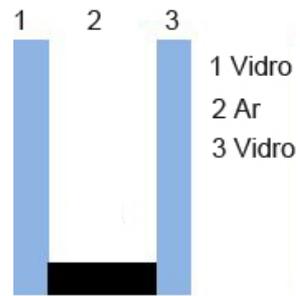


Figura 84 – Vidro na tipologia 2

Tipologia 3:  $U = 2,70 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



**Figura 85– Vidro na tipologia 3**

Tipologia 4:  $U = 5,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



**Figura 86 – Vidro na tipologia 4**