

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
ENERGÉTICO NA FASE DE PRÉ-USO DE
TELHAS TERMOACÚSTICAS COM
POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA
EDIFICAÇÃO HABITACIONAL NO DF**

Por,
Débora Mara Caldeira

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NA FASE
DE PRÉ-USO E USO DE TELHAS TERMOACÚSTICAS
COM POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA EDIFICAÇÃO
HABITACIONAL NO DF**

DÉBORA MARA CALDEIRA

ORIENTADORA: ROSA MARIA SPOSTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2016

PUBLICAÇÃO: E.DM-012A/16

BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NA FASE DE
PRÉ-USO E USO DE TELHAS TERMOACÚSTICAS COM
POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA EDIFICAÇÃO
HABITACIONAL NO DF**

DÉBORA MARA CALDEIRA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof.^a Rosa Maria Sposto, DSc. (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Michele Tereza Marques Carvalho, DSc. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Vanda Alice Garcia Zanoni, DSc. (FAU-UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, DE JUNHO DE 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

CALDEIRA, DÉBORA MARA

Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso e uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF. [Distrito Federal] 2016. xv, 165p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2016).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | | |
|---------------------------|--------------------|---------|
| 1. Telha termoacústica | 2. ACV | 3. ACVE |
| 4. Poliestireno Expandido | 5. Energia | |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) | |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CALDEIRA, DÉBORA MARA (2016). Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso e uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Publicação E.DM-012A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 165p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Débora Mara Caldeira TÍTULO: Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso e uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF.

GRAU: Mestre ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Débora Mara Caldeira
Brasília – DF – Brasil
E-Mail: dmcaldeira19@gmail.com

*A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a
imaginação abrange o mundo inteiro.
(Albert Einstein)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente toda minha família por entender minha ausência e meu amor pelos estudos.

Ao meu marido, pelos 30 anos de convivência, regados a amor, encontros e desencontros. Que Deus nos mostre o caminho para os próximos 30 anos.

Aos meus filhos, por serem meu Sul, meu Norte, meu Leste, meu Oeste, meu raio de sol e meu dia de chuva. São a força que me levanta em dias de tempestade.

Aos meus pais por terem cultivado esse amor pelo estudo

À minha mãe, que sempre cobra minha presença, mas que (sei) tem orgulho da minha perseverança. Só acho que não paro por aqui.

Ao meu pai (*in memoriam*), um homem de pouca instrução, mas muita sabedoria. Você acreditava tanto no valor do ensino. Ficaria surpreso em ver a ignorância de muitos cultos comparado ao seu conhecimento e sua calma.

Minha madrasta pelo carinho de sempre. Prova de que uma família pode ter muitas formas e todas muito amorosas.

Minhas irmãs Glaucia, Janaína e Jordana, que me apoiam em palavras ou em silêncio.

Meus sobrinhos (Thiago, Bruno e Duda) por me darem tanto amor. Vocês são especiais.

Para minha amiga Tânia (*in memoriam*) que foi para a junto de Deus em 2015. Você me faz falta, mas me conforta saber que nossa amizade foi única. Todos merecem uma amizade assim.

À minha orientadora professora Rosa por acreditar em mim e ser uma pessoa tão especial em gestos, palavras e no respeito ao próximo. Que Deus te proteja sempre.

Aos professores Michele e Jacob por aceitarem o convite de compor a banca e pelas sugestões que enriquecerão em muito essa pesquisa.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, (PECC/UnB) pela sede de dividir porque saber é só uma parte da equação. Ensinar é mágico.

Ao meu coordenador Alexandre Ono e meu colega Kennedy pelo apoio e compreensão ao meu mestrado.

Aos meus amigos do mestrado: Jessica, Lilian, Matheus, Pablo, Rogério, Thyala e Waldir. Essa turma estabeleceu uma cumplicidade instantânea. São pessoas especiais. Sentirei saudades.

Ao Lucas, Wamberto, Ana Carolina e Gilson, um agradecimento especial por me ajudarem diretamente com sugestões e conhecimentos.

À Universidade de Brasília, pela oportunidade de realizar um sonho antigo e que seja a porta para novos sonhos, de muitos brasileiros, de todas as classes, cores e gêneros.

À Deus que tem me cercado de pessoas maravilhosas. Cada palavra amiga, cada abraço terno, é a mão de Deus que chega até nós.

*Vou caminhado
Quem sabe um dia me encontro*

*Dedico este trabalho à minha família e em especial,
ao meu marido e meus filhos, pelo apoio e carinho.*

RESUMO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NA FASE DE PRÉ-USO E USO DE TELHAS TERMOACÚSTICAS COM POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL NO DF

Autor: Débora Mara Caldeira

Orientadora: Rosa Maria Spossto

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Maio de 2016.

A construção civil possui papel relevante na busca pelo desenvolvimento sustentável, pois é importante consumidor de recursos naturais e gerador de impactos ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto abrange aspectos e impactos ambientais desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final. A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), por sua vez, baseia-se na ACV com foco no consumo energético. Este estudo comparou o consumo energético da telha termoacústica com núcleo de EPS e a telha cerâmica tipo Plan, visando ultrapassar o senso comum sobre a eficiência da telha cerâmica. Foi calculada a Energia Incorporada total (EIT), considerando fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção de quatro sistemas de vedação horizontal: telha termoacústica de Poliestireno Expandido com e sem laje de concreto; e telha cerâmica Plan com e sem laje de concreto. Todas essas situações foram analisadas para uma edificação habitacional unifamiliar, construída na região de São Sebastião/DF. O Desempenho Térmico também foi analisado e demonstrou que as telhas estudadas não atenderam todos os requisitos das normas brasileiras. Os resultados de energia demonstraram que o uso das telhas termoacústicas não representou economia energética em comparação à telha cerâmica, em todas as fases estudadas. Foi observado ainda que a laje de concreto aumentou significativamente o consumo de energia podendo acrescer em 10% o consumo energético ao final da vida útil. Verificou-se também que a tipologia da telha não foi um fator preponderante para a redução da energia ao longo da vida útil de uma edificação habitacional para o modelo estabelecido.

Palavras-chave: Telha termoacústica , Poliestireno Expandido, ACV, ACVE, Energia

ABSTRACT

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ENERGY IN PRE-USE AND USE PHASES OF THERMAL ACOUSTICS TILES WITH EXPANDED POLYSTYRENE FOR BUILDINGS IN DF

Author: Débora Mara Caldeira

Supervisor: Rosa Maria Sposto

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, May 2016.

The construction industry plays a significant role for sustainable development, because it is an important consumer of natural resources and a generator of environmental impacts. Life Cycle Assessment (LCA) of a product covers environmental aspects and impacts from procurement of raw materials to final disposal. Assessment of the Energy Life Cycle (LCA for Energy), in turn, is based on LCA, but the focus is on the energy consumption. This study compared the energy consumption of thermoacoustic tile with EPS core and ceramic tile type Plan, aiming to overcome common sense on the ceramic tile efficiency. Total Energy Incorporated was calculated (EIT) cradle-to-cradle of four horizontal sealing systems: thermoacoustic tile Expanded Polystyrene with and without concrete slab; Plan and ceramic tile with and without concrete slab. All these situations have been analyzed for a single-family residential building, built in the region of São Sebastião/DF. The Thermal Performance was also analyzed and showed that the tiles studied did not meet all the requirements of Brazilian standards. Energy results showed that the use of termoacústicas tiles did not represent energy savings compared to ceramic tile in all studied phases. It was also observed that the concrete slab significantly increased energy consumption (about 10%) until the end of life. It was also found that the type of tile was not a major factor in the reduction of energy over the lifetime of a residential building to the established model..

Key Words: thermoacoustic tile, Expanded Polystyrene, LCA, Energy

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa do tema	1
1.2	Objetivos gerais	3
1.3	Objetivos específicos	3
1.4	Hipótese	4
1.5	Delimitação do tema	4
1.6	Contextualização do tema no programa	5
1.7	Estrutura de pesquisa	7
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Construção e sustentabilidade	8
2.2	Energia	11
2.2.1	Energia no brasil	11
2.2.2	Consumo de energia em edificações	14
2.3	Avaliação do ciclo de vida	18
2.3.1	Avaliação do ciclo de vida de energia	21
2.3.2	Estudos internacionais sobre ACVE	25
2.3.3	Estudos nacionais sobre ACVE	33
2.3.4	Normalização sobre ACV e ACVE no brasil	35
2.4	Desempenho térmico	36
2.4.1	Desempenho térmico das edificações habitacionais	36
2.4.2	Zonas bioclimáticas	37
2.4.3	Parâmetros de desempenho térmico	37
2.4.4	Conforto térmico	39
2.5	Sistemas de vedação horizontal	41
2.6	Dados dos principais elementos constitutivos	45
3.	MÉTODO DE PESQUISA	51
3.1	Tipo de pesquisa	51
3.2	Caracterização da amostra	55
3.2.1	Modelo arquitetônico	55
3.2.2	Sistema de vedação horizontal da amostra	56
3.2.3	Limitação geográfica – local e orientação	59

3.3	Unidade funcional	61
3.4	Coleta de dados	61
3.5	Avaliação do desempenho Térmico	64
3.5.1	Análise Simplificada de Desempenho térmico	64
3.5.2	Análise por Simulação Computacional	66
3.6	Cálculo da Energia Incorporada Inicial	67
3.6.1	Cálculo da Energia Incorporada Inicial (Fase de Pré-Uso)	67
3.6.1.1	Energia Incorporada	67
3.6.1.2	Energia de Transporte	69
3.6.1.3	Energia de Execução	71
3.6.2	Cálculo da Energia Recorrente	73
3.6.2.1	Energia de Uso	73
3.6.2.2	Energia de Manutenção	76
3.7	Cálculo da Energia Incorporada Total (Pré-Uso, Uso e Manutenção)	78
3.8	Cálculo da Energia Primária	79
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
4.1	Desempenho Térmico	82
4.1.1	Avaliação pelo Procedimento Simplificado	82
4.1.2	Avaliação pela Simulação Computacional	83
4.2	Fase de Pré-Uso	84
4.2.1	Energia Incorporada	84
4.2.2	Energia de Transporte	88
4.2.3	Energia de Execução	89
4.2.4	Valor total Energia da fase de Pré-Uso	91
4.3	Fase de Uso	92
4.3.1	Energia de Uso da edificação	92
4.3.2	Energia de Manutenção	94
4.3.3	Valor total da Energia Recorrente	96
4.4	Energia Total fase de Pré-Uso, Uso e Manutenção	97
4.5	Fator de correção da energia secundária	99
5.	CONCLUSÕES	102
5.1	Considerações Finais	105
7.	ESTUDOS FUTUROS	107

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
APÊNDICE A	114
APÊNDICE B	118
APÊNDICE C	119
APÊNDICE D	120
APÊNDICE E	124
APÊNDICE F	126
APÊNDICE G	131
APÊNDICE H	135
APÊNDICE I	139
APÊNDICE J	144
APÊNDICE K	149
APÊNDICE L	154
APÊNDICE M	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Percentual histórico entre 2005 a 2014 da participação do consumo de energia nas residências em relação ao consumo total de energia, elaborado com base no BEN (2015)	16
Tabela 2.2	Energia Incorporada de um grupo de materiais isolantes	27
Tabela 2.3	Dados de Energia para produção de painéis SPB200S da empresa Ruukki	29
Tabela 2.4	Propriedades térmicas dos elementos de vedação	29
Tabela 2.5	Resultados de Energia para cenários distintos em cidades do Mediterrâneo	31
Tabela 2.6	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	38
Tabela 2.7	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	38
Tabela 2.8	Parâmetros de Transmitância Térmica	39
Tabela 2.9	Energia Incorporada de materiais de construção civil	46
Tabela 2.10	Energia Incorporada de aço indicado por Grigoletti	46
Tabela 2.11	Energia Incorporada do aço indicada por diversos autores	47
Tabela 2.12	Energia Incorporada do aço calculado por Tavares	47
Tabela 2.13	Comparativo da energia incorporada de Alumínio em diversos países	49
Tabela 2.14	Conteúdo energético dos materiais de construção	49
Tabela 3.1	Características das telhas metálicas com núcleo de EPS	58
Tabela 3.2	Critérios e condições para exclusão de componentes de uma ACV	61
Tabela 3.3	Dados de energia utilizados e fontes	63
Tabela 3.4	Vida Útil dos componentes	64
Tabela 3.5	Propriedades térmicas dos materiais constantes nos cenários	66
Tabela 3.6	Planilha de cálculo da energia incorporada inicial de cada cenário	67
Tabela 3.7	Lista de serviços a executar em cada cenário na fase de Pré-Uso	69
Tabela 3.8	Planilha de cálculo da energia incorporada	69
Tabela 3.9	Comparativo da energia incorporada de diversos meios de transporte	70
Tabela 3.10	Planilha de cálculo da Energia Incorporada Transporte	71
Tabela 3.11	Composições usadas no cálculo da energia de execução	72
Tabela 3.12	Planilha de cálculo da Energia Incorporada de Instalação	73
Tabela 3.13	Planilha de cálculo da Energia Incorporada Operacional ou Recorrente	73
Tabela 3.14	Equipamentos/ habitação de baixa renda	74
Tabela 3.15	Características dos equipamentos e eletrodomésticos	75
Tabela 3.16	Planilha de cálculo da energia Operacional	75
Tabela 3.17	Lista de serviços de manutenção necessários na fase de Uso	77
Tabela 3.18	Planilha de cálculo da energia de manutenção de cada material	77
Tabela 3.19	Planilha de cálculo da energia de manutenção de cada cenário	78
Tabela 3.20	Energia Incorporada Total (berço-a-berço)	79

Tabela 3.21	Cálculo da energia recorrente em energia primária	81
Tabela 3.22	Cálculo da energia incorporada total em energia primária	81
Tabela 4.1	Atendimento às condições de Desempenho térmico – Análise Simplificada	82
Tabela 4.2	Atendimento às Condições da ABNT NBR 15.575-5:2013 – Cenários	83
Tabela 4.3	Energia Incorporada (EI) dos cenários	84
Tabela 4.4	Variação EI com relação ao melhor cenário	86
Tabela 4.5	Variação EI entre cenários com mesmo tipo de telha	87
Tabela 4.6	Comparação EI entre cenários em função da presença da laje do forro	87
Tabela 4.7	Energia de Transporte por cenários	89
Tabela 4.8	Energia de Execução de cada cenário	89
Tabela 4.9	Variação da Energia de Execução por tipos similares de telha	90
Tabela 4.10	Variação da Energia de Execução em cenários com mesma situação de laje de forro	91
Tabela 4.11	Energia Incorporada Inicial de cada cenário	91
Tabela 4.12	Energia de Uso por ano dos cenários	93
Tabela 4.13	Energia de Uso durante a vida útil por cenários	93
Tabela 4.14	Energia de Manutenção de cada cenário	94
Tabela 4.15	Comparação entre Energia de Manutenção e Fase de Pré-Uso	95
Tabela 4.16	Energia Recorrente de cada cenário	96
Tabela 4.17	Energia Incorporada Total (berço-a-berço)	97
Tabela 4.18	Fatores de Conversão de referência	99
Tabela 4.19	Energia Recorrente convertida em energia primária necessária em cada cenário	100
Tabela 4.20	Energia Primária necessária em cada cenário	101
Tabela A.1	Fluxo de Ar Descendente	116
Tabela A.2	Cálculo da Resistência Térmica e Transmitância	116
Tabela F.1	Composição SINAPI nº 74.157/3 – Lançamento/aplicação manual de concreto em estruturas	126
Tabela F.2	Composição SINAPI nº 73.990/1 – Armação Aço CA-50	126
Tabela F.3	Composição SINAPI nº 74.199/1 – Chapisco do teto	127
Tabela F.4	Composição SINAPI nº 8.7377 – Argamassa traço 1:3	127
Tabela F.5	Composição SINAPI nº 75.481 – Reboco	127
Tabela F.6	Composição SINAPI nº 6.022 – Argamassa 1:2 do Reboco	128
Tabela F.7	Composição SINAPI nº 88.496 – Emassamento do teto	128
Tabela F.8	Composição SINAPI nº 88.486 – Pintura do teto	128
Tabela F.9	Composição SINAPI nº 73.931/3 – Estrutura de madeira para telha cerâmica	129
Tabela F.10	Composição PINI nº TCPO 09.005.00011.SER – Estrutura de madeira para telha termoacústica	129
Tabela F.11	Composição SINAPI nº 73938/2 – Cobertura com telha cerâmica	130
Tabela F.12	Composição PINI nº TCPO 09.005.00011.SER – Cobertura com telha termoacústica	130

Tabela H.1	Energia incorporada Cenário I – TTSTF	135
Tabela H.2	Energia Incorporada Cenário II – TTCTF	136
Tabela H.3	Cenário III – TCTSF	137
Tabela H.4	Cenário IV – TCTCF	138
Tabela I.1	Energia Transporte Telhas	139
Tabela I.2	Energia de Transporte da estrutura do telhado das telhas termoacústicas	141
Tabela I.3	Energia de transporte da estrutura do telhado da telha cerâmica Plan	142
Tabela I.4	Energia de Transporte dos demais insumos para cenários com Laje de forro	143
Tabela J.1	Energia de execução telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme)	144
Tabela J.2	Energia de execução de telhas cerâmicas tipo Plan Composição PINI TCPO 09.005.SER - TELHA CERÂMICA - unidade m ²	144
Tabela J.3	Energia de execução de telhas cerâmicas tipo Plan Composição SINAPI COBE 73938/2	145
Tabela J.4	Energia de execução da estrutura para apoio das telhas termoacústicas	145
Tabela J.5	Energia de execução da estrutura para apoio da telha cerâmica tipo Plan	146
Tabela J.6	Energia Instalação da Laje de Forro	146
Tabela J.7	Energia de Execução do Chapisco	147
Tabela J.8	Energia Execução do Reboco	148
Tabela J.9	Energia de Execução da Pintura	148
Tabela K.1	Cenário I - Telha Termoacústica sem Laje de Forro	149
Tabela K.2	Cenário II - Telha Termoacústica com Laje de Forro	150
Tabela K.3	Cenário III – Telha Cerâmica sem Laje de Forro	151
Tabela K.4	Cenário IV – Telha Cerâmica com Laje de Forro	152
Tabela K.5	Energia de uso dos cenários calculada pelo <i>software Design Builder</i>	153
Tabela K.6	Energia de Uso da edificação durante a vida útil	153
Tabela I.1	Energia de reposição telhas durante a vida útil	154
Tabela I.2	Energia de reposição pintura durante a vida útil	154
Tabela I.3	Energia de reposição durante a vida útil	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Pilares da Sustentabilidade	09
Figura 2.2	Repartição da Oferta Interna de Energia	12
Figura 2.3	Setores e percentuais de uso da energia no Brasil em 2014	13
Figura 2.4	Consumo por tipo de Energia na edificação	15
Figura 2.5	O desenvolvimento dos três aspectos da sustentabilidade	17
Figura 2.6	Energia Incorporada no ciclo de vida de uma edificação	22
Figura 2.7	Energia consumida nas diversas etapas do ciclo de vida da Edificação	24
Figura 2.8	Energia de Uso total por área da edificação	26
Figura 2.9	Painel Sanduíche SPA	28
Figura 2.10	Representação esquemática da fisiologia humana e das trocas térmicas	40
Figura 2.11	Visão geral das telhas metálicas com núcleo de poliestireno expandido	43
Figura 3.1	Fluxograma da Metodologia da Pesquisa	52
Figura 3.2	Fluxograma de cálculo da Energia Incorporada de Pré-uso	53
Figura 3.3	Fluxograma de cálculo da Energia Incorporada de Uso e Manutenção	54
Figura 3.4	Fluxograma de análise do Desempenho Térmico	55
Figura 3.5	Esquema da cobertura com telhas termoacústicas	58
Figura 3.6	Esquema da cobertura com telhas cerâmica tipo Plan	59
Figura 3.7	Mapa Geográfico de Brasília e a região de São Sebastião	60
Figura 3.8	Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional	79
Figura 3.9	Correção de Energia Secundária em Primária	80
Figura 4.1	Energia Incorporada dos Cenários	85
Figura 4.2	Comparativo entre a Energia Incorporada Inicial e a de Manutenção	95
Figura 4.3	Energia Recorrente de cada cenário	97
Figura B.1	Produção de EPS e aço	118
Figura C.1	Produção de telhas cerâmicas	119
Figura D.1	Planta baixa do projeto básico de 45,64 m ²	120
Figura D.2	Fachadas da habitação. A) Fachada principal; b) Fachada posterior; c) Fachada lateral direita; d) Fachada lateral esquerda	121
Figura D.3	Corte cenário TTSF	122
Figura D.4	Corte cenário TTCF	122
Figura D.5	Corte cenário TCSF	122
Figura D.6	Corte cenário TCCF	123
Figura G.1	DB - Dados da telha cerâmica	131
Figura G.2	DB - Dados de imagem da telha cerâmica	132
Figura G.3	DB - Dados da telha termoacústica	132
Figura G.4	DB - Dados de imagem da telha termoacústica	133
Figura G.5	Dados do Split inseridos na aba HVAC	134

Figura G.6	Relatório de dados gerado pelo DB	134
Figura I.1	Mapa da distância entre Anápolis (fornecedor da telha termoacústica) e São Sebastião	140
Figura M.1	Condição dia típico de Verão TTSTF – Dormitório 1	156
Figura M.2	Condição dia típico de Verão TTSTF – Dormitório 2	156
Figura M.3	Condição dia típico de Verão TTSTF – Sala	157
Figura M.4	Temperatura Condição dia típico de Verão TTCTF – Dormitório 1	157
Figura M.5	Temperatura Condição dia típico de Verão TTCTF – Dormitório 2	157
Figura M.6	Temperatura Condição dia típico de Verão TTCTF – Sala	158
Figura M.7	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTSF – Dormitório 1	158
Figura M.8	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTSF – Dormitório 2	158
Figura M.9	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTSF – Sala	159
Figura M.10	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTCF – Dormitório 1	159
Figura M.11	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTCF – Dormitório 2	159
Figura M.12	Temperatura Condição dia típico de Verão TCTCF – Sala	160
Figura M.13	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTSTF – Dormitório 1	161
Figura M.14	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTSTF – Dormitório 2	161
Figura M.15	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTSTF – Sala	161
Figura M.16	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCTF – Dormitório 1	162
Figura M.17	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCTF – Dormitório 2	162
Figura M.18	Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCTF – Sala	162
Figura M.19	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTSF – Dormitório 1	163
Figura M.20	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTSF – Dormitório 2	163
Figura M.21	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTSF – Sala	163
Figura M.22	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTCF – Dormitório 1	164
Figura M.23	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTCF – Dormitório 2	164
Figura M.24	Temperatura Condição dia típico de Inverno TCTCF – Sala	165

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

A	Absortância Térmica
aa	Ao ano
aC	Antes de Cristo
ABCEM	Associação Brasileira de Construção Metálica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrapex	Associação de Poliestireno Expandido
ACM	Aluminum Composite Material ou Alumínio Composto
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE	Avaliação do Ciclo de Vida Energético
ACVCO2	Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO2
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Sustentável
BNH	Banco Nacional da Habitação
c	Calor específico
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CB-02	Comitê Brasileiro de Construção Civil
CFC	Clorofluorcarbonetos
Ci	Consumo do insumo especificado na composição
CIB	Conselho Internacional da Construção
CIB	International Council for Research and Innovation in Building and Construction
cm	centímetro
CO2	Dióxido de Carbono
Codeplan	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONPET	Programa Nacional de Racionalização e Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CR	Cold
CT	Capacidade Térmica
d	distância de transporte
DB	Design Builder
DF	Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional de Produto Mineral
ϵ	Emissividade térmica
e	Espessura da camada
Ecl	Energia consumida por Km de transporte
ECO	Emissão de Dióxido de Carbono
ED	Energia de Desconstrução
EE	Eficiência Energética
EI	Energia Incorporada
EIi	Energia Incorporada Inicial
EIins	Energia Incorporada do Insumo
EIit	Energia Incorporada de Instalação
EIm	Energia Incorporada do Material
EIt	Energia de Transporte
EIO	Energia Incorporada Operacional

Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras S. A
EM	Energia Incorporada de Manutenção
EPA	Environmental Protection Agency
EPD	Environmental Protection Declaration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno Expandido
ER	Energia Recorrente
ESPM	Escola Superior de Propaganda e Marketing
ETt	Energia Total berço-a-berço
EU	Energia Incorporada de Uso
EUA	Estados Unidos da América
FAR	Fundo de Arrendamento Residencial
FC	Fator de Correção ou Conversão
FV	Fator de Ventilação
GJ	Giga Joule
GLP	Gás de Petróleo Liquefeito
GR	Green
H	Taxa de transferência de calor
hr	Coefficiente de trocas térmicas por radiação
HCFC	Hidrofluorcarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IEA	Agência Internacional de Energia
IETC	International Environmental Technology Centre
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
ISO	International Organization for Standardization
J	Joule
k	Condutividade térmica do material
Kcal	Quilocalorias
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
KWh	Quilowatt
KWh	Quilowatt hora
λ	Condutividade Térmica / Comprimento de Onda
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LCA	Life Cycle Assessment
M	Massa
m ²	metro quadrado
MJ	Mega Joule
mm	Milímetro
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MTep	Milhões de Tonelada equivalente de Petróleo
NBR	Norma da Associação Brasileira de Norma Técnica
NOx	Número de Oxidação
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida

PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PECC	Programa de Pós-Graduação em Estrutura e Construção Civil
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIR	Poliisocianurato
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PPGEC	Programa de Pós-Graduação da Engenharia Civil
PR	Paraná
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Proesco	Apoio a Projetos de Eficiência Energética
Prodlist	Lista de Produtos e Serviços Industriais
PS	Poliestireno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinílica
ρ	Refletância Térmica/Massa específica do material
Rt	Resistência Térmica
Rt	Resistência Térmica das n camadas homogêneas
Rar	Resistência da Câmara de Ar
Ren/h	Renovação do volume de ar do ambiente por hora
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
Rse	Resistência térmica superficial externa
Rsi	Resistência térmica superficial interna
RS	Rio Grande do Sul
Rt	Resistência térmica
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SICV	Sistema de Inventário do Ciclo de Vida
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
Sinmetro	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SPA	Painel Sanduíche tipo A (isolante de lã mineral ou lã de vidro)
SPB	Painel Sanduíche tipo B (isolante de EPS)
ST	Standard
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
T	Temperatura do corpo
Te	Temperatura Externa
Ti	Temperatura Interna
TCPO	Tabela de Composições de Preços para Orçamentos
TTSF	Telha Termoacústica sem laje de forro
TTCF	Telha Termoacústica com laje de forro
TCSF	Telha Cerâmica sem laje de forro
TCCF	Telha Cerâmica com laje de forro
U	Transmitância Térmica
UnB	Universidade de Brasília
UNEP	United Nations of Environmental Programme
UFPR	Universidade Federal do Paraná
W	Watt
WBCSD	World Council for Sustainable Development
Web	World Wide Web

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as questões ambientais aumentou significativamente nas últimas décadas e várias iniciativas e pesquisas são realizadas visando avaliar e minimizar os impactos ao meio ambiente. Dentre as diversas atividades humanas, a indústria da construção é um setor que consome recursos naturais e energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais, evidenciando, assim, a importância de se estudar os materiais utilizados nesse segmento.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para avaliar esses impactos ambientais, seja de um sistema ou produto, qualificando e quantificando os usos de recursos naturais, energia e matéria e das emissões ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), por sua vez, é baseada na ACV, porém prioriza os dados relativos aos consumos energéticos diretos e indiretos na produção, uso, manutenção e disposição de determinado produto.

Este estudo efetua um levantamento da ACVE das telhas metálicas com núcleo em poliestireno expandido, nas fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção, quando utilizadas em edificações habitacionais térreas na região do DF e compara esses resultados com a telha cerâmica tipo Plan. Representa mais um avanço no conhecimento sobre os impactos ambientais dos materiais de construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Novos produtos para a construção civil são lançados periodicamente no mercado, porém o Brasil ainda não possui uma base de dados de inventário sobre os impactos ambientais destes produtos. Apesar dos avanços da Engenharia nacional, a escolha de diversos materiais e sistemas construtivos, muitas vezes, é realizada de forma empírica, sem uma análise comparativa com os demais produtos existentes em função dessa lacuna de informações. O CIB (1982) indica que os profissionais buscam selecionar os materiais com base nos resultados construtivos e estéticos, buscando atender critérios de conforto térmico, acústico, lumínico, textura e cores dos materiais. A escolha, por exemplo, entre uma esquadria de alumínio e outra

de madeira considera prioritariamente fatores como custo, durabilidade, estética e estanqueidade. Todavia, além desses aspectos, é necessário considerar também a possibilidade de reciclagem e reuso do produto e da matéria-prima que o compõem, o conteúdo energético do material, aspectos regionais e socioeconômico, dentre outros fatores.

Hamelin e Hauke (2005) destacam que a construção civil tem alto impacto ambiental em função do consumo de energia, por isto, é importante pesquisar materiais e componentes inovadores que possam reduzir de forma significativa a necessidade de aquecimento ou resfriamento. Essas ações, somadas a outras, podem neutralizar ou resultar num balanço energético positivo.

De acordo com o Estudo de Mercado Sebrae – ESPM/2008 sobre cerâmica vermelha, as coberturas com telhas cerâmicas, usadas em larga escala no Brasil, datam de 430 a.C na Grécia e seu uso foi implantado no Brasil desde a chegada dos portugueses. Todavia, apesar do seu largo uso, ainda enfrenta problemas com controle de qualidade e inovação tecnológica (revista Notícia da Construção, março/2014, página 30, ed. 131), fato que reforça a necessidade de comparar esse produto com outros existentes no mercado.

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (2014), as coberturas termoisolantes, quando devidamente especificadas e instaladas, podem: diminuir as trocas térmicas; reduzir o consumo de energia elétrica; atenuar ruídos externos e de impacto; evitar o gotejamento que ocorre com a condensação da umidade interna quando as coberturas são expostas ao sol; e possibilitar uma montagem racionalizada e com materiais recicláveis. Apesar da predominância do uso em empreendimentos comerciais e industriais, o uso nas edificações habitacionais tem se ampliado nos últimos anos, conforme aponta a entrevista com Marcelo Fernandes, sobre Telha Termoacústica Isolante (revista PINI de 2012, ed. 136).

Entretanto, apesar do crescimento de 20% em 2013 (Cichinelli, 2014) uso das telhas termoacústicas e dos benefícios apontados, não foram detectadas pesquisas comparativas da eficiência energética deste produto com a telha cerâmica. Esse fato destaca a importância de se avaliar qual desses sistemas de cobertura é mais adequado quando avaliada a eficiência energética ao longo da vida útil deste sistema e se essa eficiência justifica o uso nas edificações habitacionais para populações de baixa renda.

A adoção da arquitetura sustentável baseada em dados científicos sobre a matéria-prima, o consumo de energia, o volume de resíduos, a emissão de dióxido de carbono, entre outros, possibilita uma melhor preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Esta pesquisa caminha na direção desta arquitetura sustentável, uma vez que fornece subsídios importantes para a escolha dos materiais de sistemas de vedações horizontais.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo principal desta pesquisa é a Avaliação de Ciclo de Vida Energética de telhas termoacústicas com núcleo de poliestireno expandido (EPS), tendo como foco a Energia Incorporada (EI) das fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção em edificação habitacional térrea, na região do DF e entorno.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do projeto são:

- Avaliação do desempenho térmico dos quatro sistemas de vedação horizontal, pelos métodos de análise simplificada e de sistema computacional com o software *DesignBuilder*;
- Cálculo e avaliação da energia incorporada (EI) durante as fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção em quatro cenários: Telha termoacústica sem laje de forro (TTSF); Telha Termoacústica com laje de forro (TTCF); Telha Cerâmica sem laje de forro (TCSF); e Telha Cerâmica com laje de forro (TCCF);
- Comparação da energia incorporada total (EIT) das fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção e o desempenho térmico dos quatro cenários e verificação se as telhas termoacústicas com núcleo de poliestireno expandido (EPS) apresentam melhor eficiência energética do que a telha cerâmica tipo Plan, nas fronteiras definidas neste projeto

1.4 HIPÓTESES

Algumas hipóteses foram estabelecidas para esta pesquisa:

- A telha termoacústica possui um desempenho térmico melhor do que a telha cerâmica;
- A telha termoacústica tem menor gasto energético do que a telha cerâmica na Fase de Operação;
- A telha termoacústica apresenta menor gasto energético ao longo da vida útil da edificação.

1.5 DELIMITAÇÕES DO TEMA

A pesquisa limita-se à Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de quatro sistemas de vedação horizontal, sendo dois com telhas termoacústica com núcleo de poliestireno expandido e dois com telha cerâmica, utilizadas em edificação habitacional térrea com área de 45,64 m², no Distrito Federal - DF. A adoção desse modelo de edificação possibilitará criar um banco de informações sobre uma tipologia que foi utilizada em outras pesquisas da Universidade de Brasília, auxiliando também análises comparativas em estudos futuros.

A pesquisa considera o consumo de energia das etapas de Pré-Uso, Uso e Manutenção, pois, segundo Tavares (2006) são nestas fases que se concentram os maiores gastos de energia de uma edificação. A produção da telha termoacústica adota como fronteira fabricantes até 200 km da região de Brasília/DF. Esta distância é adotada em função da facilidade da aquisição e transporte, visto que fornecedores em regiões mais distantes representam maior valor de frete, um tempo maior de entrega e dificuldade de reposição de peças, fatores que comprometem a escolha do produto. Detectou-se apenas um fornecedor de telhas termoacústicas dentro desse raio de abrangência, o que resultou em dois modelos específicos de telhas, cujos dados são descritos no capítulo 2.

O desempenho térmico do sistema de vedação vertical não é foco deste estudo, por isto, é adotado um sistema construtivo regulamentado pelas normas brasileiras. Também não são

consideradas as trocas de lâmpadas, aparelhos e equipamentos domésticos, visto que a vida útil dos mesmos não está diretamente correlacionada com o tipo de telhado e seria idêntico em todas as situações. Não são considerados os gastos energéticos com remoção de material.

1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA NO PROGRAMA

Esta pesquisa faz parte do Programa de Pós-graduação em Estrutura e Construção civil da Universidade de Brasília (UnB), na área de concentração da avaliação de desempenho da edificação habitacional e está inserida na linha de pesquisa da gestão e sustentabilidade na construção civil.

A UnB tem desenvolvido várias pesquisas sobre energia incorporada e desempenho térmico para diversos materiais, componentes e sistemas da edificação:

- Nabut (2011) pesquisou a energia incorporada e emissões de dióxido de carbono (CO₂) do *Steel Frame* para edificação habitacional do Distrito Federal, comparando-o com um sistema convencional, considerando a energia incorporada total dos sistemas e emissões de CO₂ totais. Essa pesquisa demonstrou que a energia incorporada inicial do Steel Frame é 450 MJ/m² e para fachada convencional é 850 MJ/m². No tocante à EI de transporte dos materiais, observou-se que as mesmas foram menores no sistema Steel Frame, com valores na faixa de 11 - 27 MJ/m², do que para a fachada convencional, de 27 MJ/m². A energia incorporada total do Steel Frame encontrado foi de 461 MJ/m² a 1.527 MJ/m² e para a fachada convencional, os resultados foram 878 MJ/m².
- Gouveia (2012) desenvolveu um estudo de caso, tendo como foco painéis de alumínio composto *Aluminum Composite Material* (ACM) aplicados em fachadas nas construções de Brasília/DF. Foi observado que as fachadas com ACM são consideradas uma alternativa mais sustentável, caso seus materiais constituintes sejam fabricados com matéria prima secundária, visto que 63,31% de sua massa é composta por alumínio. A fachada em ACM, produzida com matéria prima secundária, pode representar uma economia de energia de 78,13 %.

- Maciel (2013) estudou a energia incorporada de três tipologias de fachadas nas fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção para uma edificação habitacional multifamiliar em Brasília/DF. Essa pesquisa demonstrou que a fachada em alumínio composto tem a melhor eficiência energética, ou seja, menor energia total, apesar de maior energia incorporada inicial e recorrente, seguida pela porcelanato e as placas pétreas, porém a diferença não foi significativa.
- Uribe (2013) desenvolveu uma pesquisa sobre energia incorporada de vedações do *Light Steel Frame*, com vários tipos de configurações e acabamentos para habitação de interesse social no entorno do DF, comparando com o sistema convencional.
- Pedroso (2015) elaborou uma metodologia para avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de habitação de interesse social de sistemas inovadores, tendo utilizado como estudo de caso uma edificação habitacional do Distrito Federal, que é usada como referência para o desenvolvimento da pesquisa atual. Essa pesquisa avaliou a ACVE nas fases de Pré-uso, Uso e Manutenção e Desconstrução de um projeto típico para a região centro-oeste do Brasil, no DF, de 45,64 m², abordando os sistemas de vedação vertical interna e externa: painéis de concreto moldados no local, alvenaria estrutural de blocos de concreto, Steel Frame e sistema convencional em estrutura de concreto armado e blocos cerâmicos de vedação. Os resultados demonstraram que a alvenaria estrutural com bloco de concreto teve a menor energia incorporada nas três fases e, em todas as situações, a etapa de desmontagem ou desconstrução teve o menor peso no gasto de energia incorporada, representando na média 1 % do consumo de EI total.
- Santos (2015) analisou o desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas com base na norma de desempenho para estudo de caso em Brasília/DF. As fachadas ventiladas de porcelanatos obtiveram melhores resultados de desempenho térmico, quando comparados à fachada de porcelanato aderido. Esse resultado provavelmente é ocasionado pela camada de ar ventilada que permite a renovação do ar aquecido, diminuindo a transmissão de calor para o interior da edificação no período de verão, e evita a transmissão de calor para o exterior da edificação nos períodos de inverno. Quanto ao desempenho acústico, os dois sistemas apresentaram o nível mínimo de desempenho, segundo critério da norma.

- Paulsen e Sposto (2014) avaliaram a energia incorporada em habitações de interesse social na fase de Pré-Uso que pode ser auxiliar no cálculo de ACVE completa.
- Caldas (2016) pesquisou sobre a avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de uma habitação de *Light Steel Framing* para diferentes dados de inventário;

1.7 ESTRUTURA DA PESQUISA

Nesta pesquisa é apresentado um breve histórico sobre construção e sustentabilidade, energia no Brasil, consumo de energia no Brasil, ACV, ACVE e normas referentes à ACV e ACVE. Também são apresentados alguns conceitos sobre desempenho térmico e as normas brasileiras para a análise deste parâmetro. Na sequência, é apresentada a metodologia adotada na pesquisa, os resultados, as análises e as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta os principais tópicos necessários para o entendimento e a base teórica deste trabalho, quais são: a sustentabilidade na construção civil, a situação da energia no Brasil e nas edificações, a Avaliação de Ciclo de Vida de edificações e a Avaliação de Ciclo de Vida Energético, estudos nacionais e internacionais, as normas pertinentes à ACV e ACVE e os parâmetros de desempenho térmico para sistema de vedação horizontal.

1.8 CONSTRUÇÕES E SUSTENTABILIDADE

A série histórica do IBGE demonstra um crescimento da população urbana, ocasionando a necessidade de novas moradias e infraestrutura. De acordo com a publicação “Perspectivas do Investimento 2010 – 2013” do BNDES (2010), ocorre uma necessidade urgente de acelerar investimentos em construção civil, não só em face do elevado déficit habitacional no país, mas também para superar a grande deficiência em infraestrutura. Todavia, isso implica na extração e beneficiamento de recursos naturais, consumo de energia, atividades de construção e desconstrução, geração de resíduos e operação do ambiente construído. Logo, é também fonte importante de danos ambientais por meio do esgotamento dos recursos naturais, da degradação de zonas ecológicas frágeis, da contaminação química e do uso de materiais nocivos para a saúde humana.

Gervásio (2013) aponta que a construção sustentável foi definida pela primeira vez em 1994 por Charles Kibert, durante a Conferência Internacional sobre construção sustentável ocorrido em Tampa, Estados Unidos, como sendo a criação e o planejamento responsável de um ambiente construído saudável com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos. Os princípios básicos da construção sustentável visam: reduzir, reutilizar e reciclar os recursos; proteger os sistemas naturais e eliminar materiais tóxicos.

O Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente (UNEP, 2007) apresenta os três pilares da sustentabilidade a partir dos quais é possível avaliar o que envolve a sustentabilidade:

econômico, social e ambiental. Mesaros et al. (2014) destaca que se qualquer um dos pilares não for considerado, o sistema como um todo ficará desajustado (Figura 2.1).

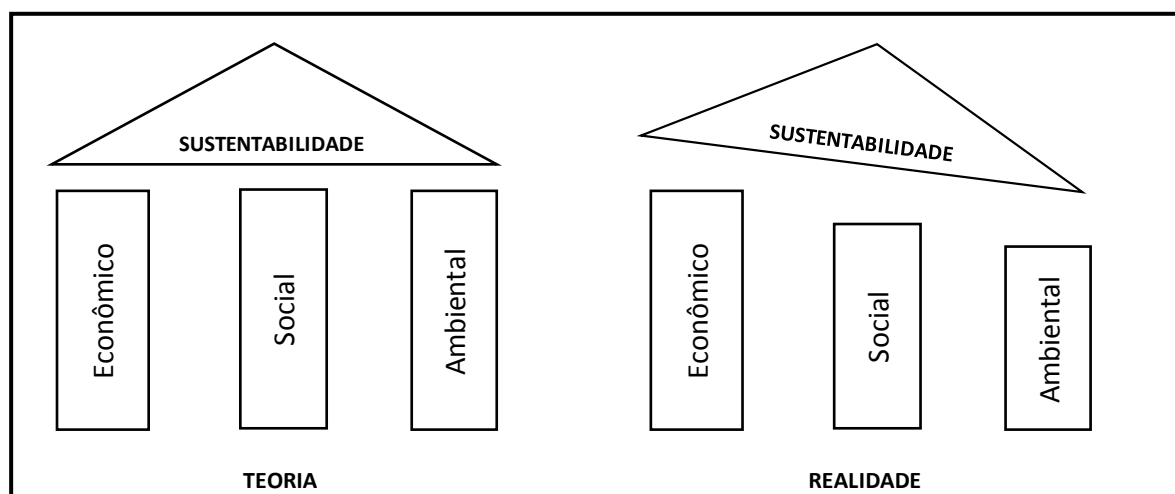


Figura 2.1 – Pilares da Sustentabilidade (adaptado de Mesaros et al., 2014)

Em 1992, o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) introduziu o conceito de eco-eficiência para destacar a ligação entre melhorias ambientais e benefícios econômicos ampliando a visão referente ao aspecto econômico do pilar ambiental. Infelizmente, a dimensão social não tem tido a mesma atenção e vale ressaltar que em países em desenvolvimento, com grande carência de infraestrutura e habitações, a construção civil é um importante gerador de empregos e, conseqüentemente, grande aliado na renda das famílias. Apesar da necessidade urgente de melhoria das condições de vida, os países em desenvolvimento têm a oportunidade de desenvolver-se de forma sustentável evitando os problemas de recursos que se observa em países desenvolvidos.

A Agenda 21 (2000) para países em desenvolvimento indica que nos países desenvolvidos, o ambiente construído geralmente é responsável por até metade de todas as matérias-primas retiradas da crosta terrestre, em peso, e consome entre 40% e 50% da energia de um país em geral.

Pesquisa desenvolvida por Hamlin e Hauke (2005) na Europa aponta que o desenvolvimento sustentável é parte fundamental para a qualidade de vida. Logo é necessário aliar novos métodos e processos sustentáveis de longo prazo no setor da construção visando manter a qualidade de vida da população no futuro.

Segundo Gervásio (2006), a Comissão Europeia busca desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela atividade da indústria da construção e pelo ambiente construído e simultaneamente melhorar as condições para a competitividade da indústria da construção. No contexto da competitividade, os principais aspectos da sustentabilidade que afetam a indústria da construção no mundo são:

- Materiais de construção - aproximadamente 50% de todos os materiais extraídos da crosta terrestre são transformados em materiais e produtos para a construção;
- Eficiência energética em edifícios – a construção, operação e consequente demolição de edifícios contabiliza aproximadamente 40% de toda a produção de energia no mundo e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases com efeito de estufa;
- Gestão de desperdícios da construção e/ou demolição – os desperdícios da construção e demolição constituem a maior fonte de resíduos sólidos por peso da União Europeia.

Dentre as diversas dificuldades apontadas pela Agenda 21 para a construção sustentável nos países em desenvolvimento (CIB; UNEP-IETC, 2002), esse documento destaca o fato de que cada país possui aspectos culturais, geográficos e socioeconômicos que devem ser considerados na construção de um caminho sustentável. Alerta também que a falta de dados precisos e informações sobre o impacto dos materiais ao longo do seu ciclo de vida, dificulta a elaboração de processos e políticas sustentáveis ou mesmo a escolha adequada de materiais e sistemas construtivos.

Nesse cenário de preocupação ambiental, as decisões de projeto, tais como local, produto a ser construído, partido arquitetônico e especificação de materiais e componentes, afetam diretamente a demanda por recursos naturais e energia. Esta interdependência motiva pesquisas que avaliam total ou parcialmente os impactos dos materiais utilizados.

2.1 ENERGIA

A energia é indispensável para a sobrevivência humana e está presente desde as células até as mais diversas formas de tecnologia utilizadas pelo homem. Por isto, é importante conhecê-la e estudá-la, possibilitando assim um consumo consciente.

Parte significativa da Energia gerada no mundo é gasta em edificações. Segundo a OECD (2003), as construções respondem por 25 a 40% da energia em uso; e na Europa, as edificações somam de 40 a 45% da energia consumida na sociedade. Atualmente, mais da metade da população vive em áreas urbanas e mais de 80% das pessoas vivem em países em desenvolvimento. A UNEP (2007) destaca que este fato demonstra a importância dos países em desenvolvimento crescerem em um caminho sustentável.

A *World Business Council for Development Countries* (2008), no entanto, ressalta que o uso de energia é visto como uma medida de conforto e riqueza e essa correlação precisa ser revista. Ou seja, os países em desenvolvimento precisam encontrar maneiras para melhorar os níveis de conforto com uso mais eficiente de energia; e os países desenvolvidos precisam encontrar formas de manter os níveis de conforto com menores gastos de energia.

O Relatório *2010 Buildings Energy Data Book* (2011) do Departamento de Energia dos Estados Unidos calcula que o setor da construção consuma cerca de 40% da energia primária do país e que os transportes gastam 28%. Esses dados demonstram a importância da construção civil no consumo de energia produzida no mundo.

2.1.1 Energia no Brasil

O Atlas Energético Nacional (2002) indica que o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Enquanto as reservas de combustíveis fósseis são relativamente reduzidas, os potenciais hidráulicos, de irradiação solar, de biomassa e eólico são suficientemente abundantes para garantir a autossuficiência energética do país.

Essa diversidade de fontes é representada no Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN, 2015) na Figura 2.2:



Figura 2.2: Repartição da oferta interna de energia (Balanço Energético Nacional, 2015)

No entanto, apesar da matriz diversificada, o Atlas da Energia de 2008 já alertava que a energia elétrica ingressou no século XXI em busca do desenvolvimento sustentável, conceito que alia a expansão da oferta, o consumo consciente, a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida. O desafio é reduzir o impacto ambiental e, ao mesmo tempo, ser capaz de suportar o crescimento econômico que, entre outros desdobramentos, proporciona a inclusão social, com o aumento da geração de renda e da oferta de trabalho.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), a energia demandada no Brasil em 2014 foi de 305,6 MTEp. Este dado representa um crescimento de 3,1%. A energia produzida no Brasil é aplicada principalmente na indústria e nos transportes, enquanto as residências respondem por 9,3% da energia utilizada (ver Figura 2.3).

O consumo de energia tem crescido em maior ou menor escala ano a ano. Ele reflete o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, e a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados (automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos).

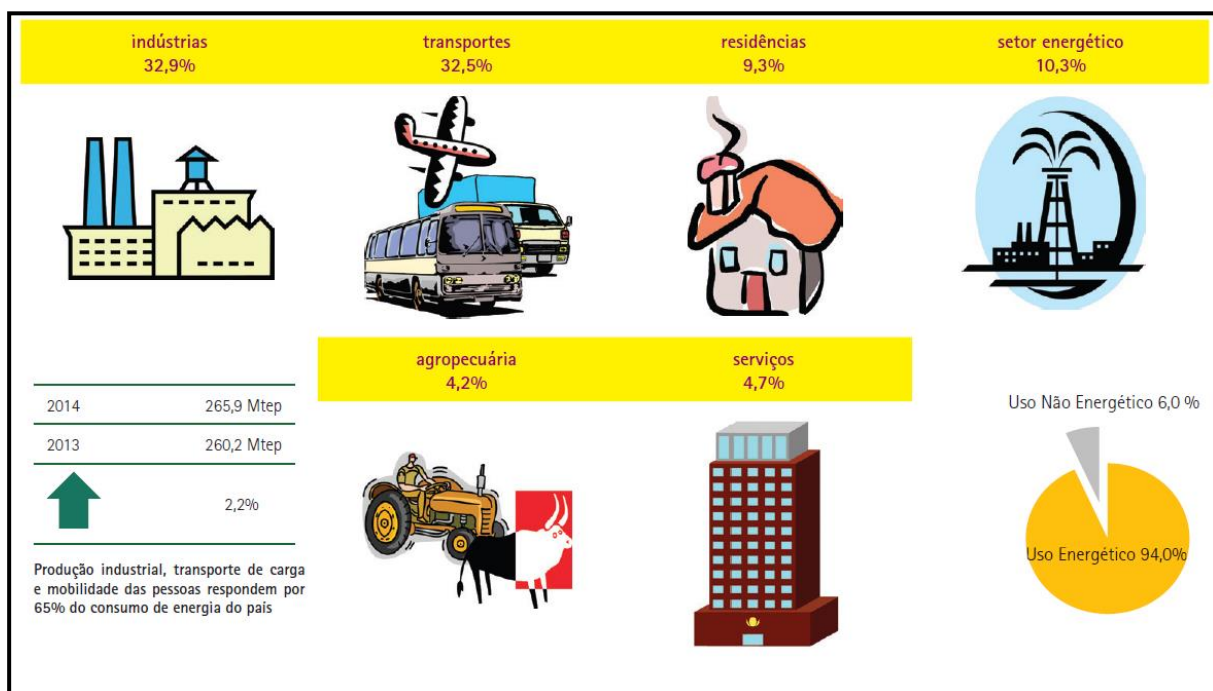


Figura 2.3: Setores e percentuais de uso da energia no Brasil em 2014 (Relatório Síntese - BEN, 2015)

Dados do Procel (2005) indicam que nos países em desenvolvimento, como o Brasil, o crescimento do consumo de energia elétrica é uma constante (entre 3% e 5 % a.a). Mesmo nos períodos de estagnação econômica, o consumo não para de crescer e esta tendência de crescimento é ainda maior, sobretudo, devido à busca por uma política de melhor distribuição de renda.

Em função do crescimento existente e projetado e da necessidade de um consumo responsável, a Portaria 594 do Ministério de Minas e Energia aprovou o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) que objetiva, em síntese, atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto ambiental. Segundo o PNEf (2011), as ações de eficiência energética (EE) almejam uma redução de 10% no consumo de energia em 2030 em relação ao cenário macroeconômico.

O Plano de Eficiência Energética reúne diversas ações empreendidas no Brasil para a promoção da eficiência energética na indústria, tais como: programa PROCEL Indústria (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica); programa PROESCO (Apoio a Projetos de

Eficiência Energética) com linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social– BNDES; os Programas de Eficiência Energética – PEE, conduzidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), conduzido pela Petrobras.

Os relatórios dos órgãos gestores federais e a Política Nacional de Energia do país deixam claro alguns pontos: o consumo é crescente e o desenvolvimento sustentável é uma meta. É nesse cenário que pesquisas sobre produtos ou sistemas produtivos energeticamente econômicos podem ser ferramentas de decisão muito relevantes.

2.1.2 Consumo de energia em edificações

Uma edificação consome muita energia desde a etapa de extração da matéria-prima para a produção dos insumos de construção até a demolição e reciclagem dos materiais do espaço construído. O relatório do *United Nations of Environmental Programme – UNEP (2007)* afirma que no mundo todo, aproximadamente 30% a 40% da energia primária é utilizada em edificações. Estudos realizados pela OCDE (2003) indicam que as construções residenciais e comerciais são responsáveis por cerca de 30% da primária energia consumida nos países em desenvolvimento.

O Relatório da *International Energy Agency (2008)* aponta que a energia gasta em edificações não industriais varia de país para país, mas este número está entre 30% a 50%, o que demonstra a relevância do estudo desse consumo energético.

As pesquisas apontam que os maiores gastos energéticos se concentram na fase de operação, ou seja, na etapa de uso da edificação (Tavares, 2006; Gouveia, 2012; Sartori e Hestnes, 2006,; Hsu, 2010; Ramesh et al., 2013).

Ramesh et al, em estudo realizado em habitações multifamiliares da Índia, identificou que a energia operacional corresponde a 89% do gasto energético da edificação. O estudo desenvolvido pela UNEP (2007) indica que esse percentual é de aproximadamente 86,5% (ver Figura 2.4).

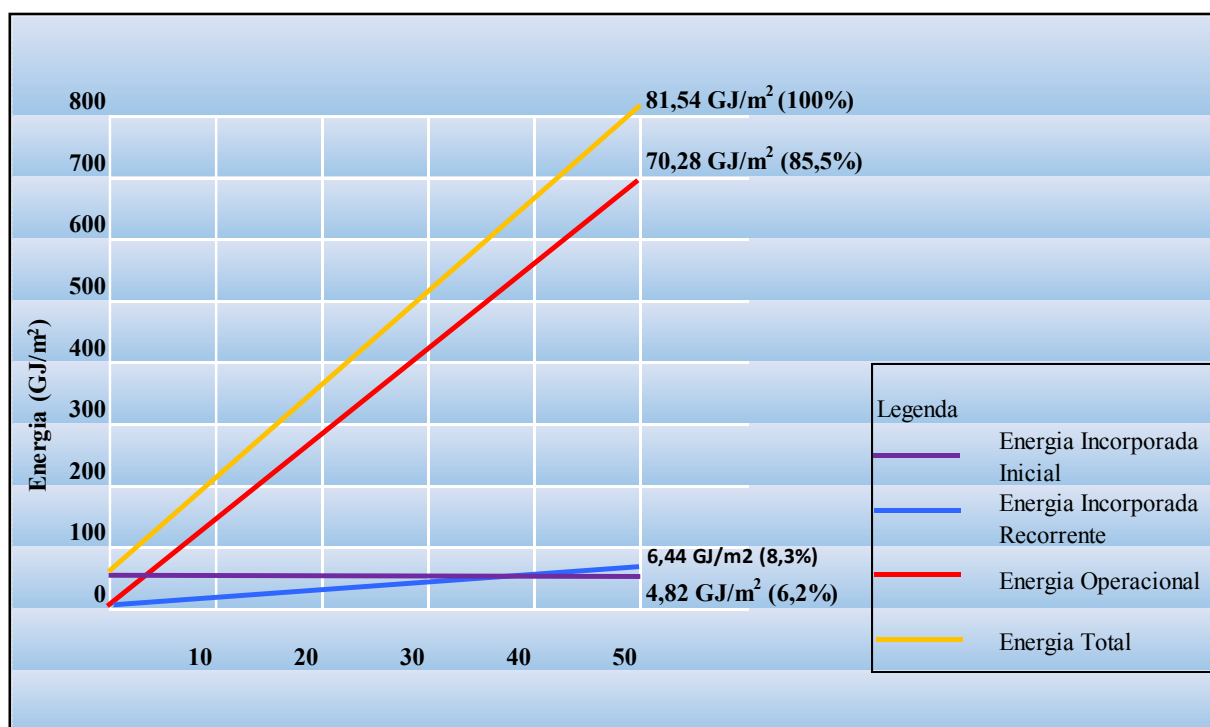


Figura 2.4: Consumo de energia durante 50 anos do ciclo de vida de edifício típico de escritório com estacionamento subterrâneo em Vancouver e Toronto (adaptado de UNEP, 2007)

No Brasil, os dados históricos apresentados no BEN (2015) demonstram que o setor residencial representa um consumo de aproximadamente 9% em relação ao Consumo Final de Energia (Tabela 2.1) desde o ano de 2011. Em 2014, as residências representaram um consumo de 9,3% em relação ao consumo final de energia, com um crescimento de 4,5% em relação ao ano anterior. As principais fontes de energia do setor residencial são eletricidade, GLP e lenha com 45,8%, 26,4% e 24,6% de consumo, respectivamente.

Apesar da estabilidade de consumo que se observa desde 2011, o Relatório Procel (ano base 2005) projeta um crescimento pelos seguintes fatores: uso acentuado de meios computacionais em domicílios; aumento da economia informal, transformando as residências em microempresas; busca pelo conforto e lazer com a aquisição de eletrodomésticos e equipamentos eletroeletrônicos; aumento do tempo de permanência das pessoas em seus domicílios, em função da falta de segurança; demanda reprimida, em face da esperada redução

das desigualdades sociais; incorporação de novos consumidores, em função da expansão dos serviços de energia elétrica, entre outros.

Tabela 2.1: Percentual histórico entre 2005 a 2014 da participação do consumo de energia nas residências em relação ao consumo total de energia (Autor)

SETOR	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CONSUMO FINAL (10 ³ tep)	195.491	202.534	215.197	226.215	220.732	241.194	245.860	253.037	260.218	265.864
RESIDENCIAL (10 ³ tep)	21.827	22.090	22.271	22.738	23.129	23.562	23.267	23.761	23.726	24.786
PERCENTUAL RESIDENCIAL/ CONSUMO FINAL (10 ³ tep)	11%	11%	10%	10%	10%	10%	9%	9%	9%	9%

Segundo o planejamento estratégico 2007-2012 da Agência Internacional de Energia (IEA, 2008), a situação atual de gasto de energia é representada pelo nível inferior do tetraedro da Figura 2.5.

O desenvolvimento deve mover em direção ao topo do tetraedro em todos os três aspectos: economia, ecologia e sustentabilidade social. Atualmente, a maioria do desenvolvimento sustentável está orientado para a tecnologia e próximo do vértice da "ecologia", mas é importante considerar também as necessidades dos usuários (*end-user*) e os aspectos do negócio (*market and business*).

A WBCSD (2008) destaca a evolução do conceito da energia-zero nas edificações, análogo ao "zero-acidentes" de construções, que muitas empresas adotam como parte de sua política de saúde e segurança. A realização da energia-zero, a exemplo do zero-acidentes é uma meta que reforça a escala do desafio e o nível de ambição para resolvê-lo. Esse relatório destaca ainda algumas experiências de energia-zero:

- Edifício do Conselho (*Council House 2*) da Austrália, construído com concreto de alta massa térmica, painel solar para aquecimento de água, células fotovoltaicas na fachada, espaço verde no telhado para gerar oxigênio, dentre outras medidas. Esse edifício usa 35 KWh/m²/ano, o que representa 82% de economia em relação ao prédio anterior.

- Conjunto habitacional do Porto Ocidental na Suécia, concluído em 2001. Ele foi projetado como um ambiente urbano sustentável, incluindo 100% de energia renovável e gestão de resíduos com sistema projetado para utilizar esses rejeitos e o esgoto como fonte de energia. As casas são construídas para minimizar o calor e o consumo elétrico e cada unidade é projetada para não usar mais de 105 kWh/m²/ano, incluindo energia elétrica residencial.
- Na Índia, um prédio do Campus a 30 Km do Sul de Delhi, foi projetado com diversas premissas de zero-energia: eixo orientado leste-oeste para maior exposição ao Sol, teto isolado com concreto com vermiculita, paredes com isolamento de poliestireno expandido, dentre outros detalhes construtivos. O centro de formação de 3000 m² é independente da rede de eletricidade local. O pico de carga de eletricidade é apenas 96 kW, em comparação a um pico usual de 280 kW.

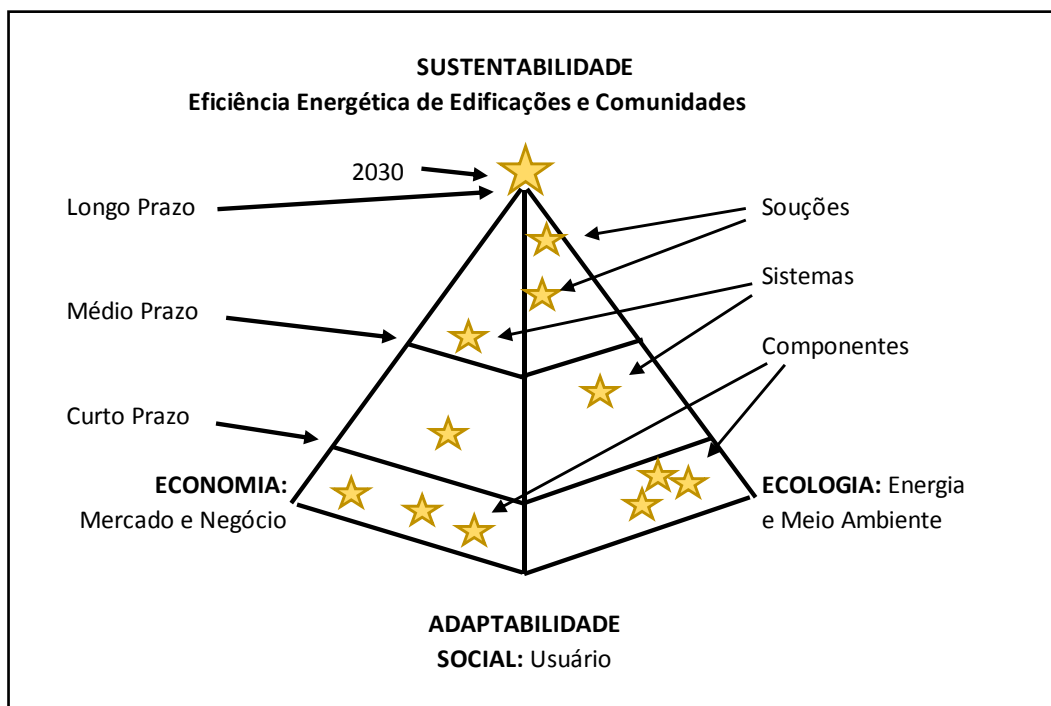


Figura 2.5 – O desenvolvimento dos três aspectos da sustentabilidade (adaptado de IEA, 2008).

O governo brasileiro também tem implantado diversas ações de eficiência energética, como citado anteriormente. Todas essas ações globais ou nacionais tem um objetivo comum: diminuir

o consumo de energia e essa pesquisa pode contribuir com essa ação a partir da avaliação do ciclo de vida dos cenários em estudo.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Segundo a ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método para melhor entender e reduzir os impactos associados a um produto ou serviço. Esta metodologia avalia desde a extração da matéria-prima (berço), passando pela etapa produção, utilização e disposição final (túmulo).

Segundo Ferreira (2004), o termo ACV, ou em inglês, "*Life Cycle Assessment*" (LCA), foi utilizado primeiramente nos Estados Unidos (EUA) em 1990. A designação anterior para esse tipo de estudo realizado desde 1970, era "*Resource and Environmental Profile Analysis*" (REPA). A partir de 1990, houve um notável crescimento das atividades relativas ao ACV na Europa e nos EUA e em 1993, as organizações Europeia e Norte Americana da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) planejaram e conduziram em Sesimbra-Portugal o "*Workshop - Code of Practice*" (SETAC,1993b) com o intuito de orientar os estudos sobre ACV. Esse evento é considerado como o mais relevante denominador comum entre as posições Americana e Europeia na definição de uma metodologia sobre Avaliação de Ciclo de Vida.

Em 1997, foi publicada a ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014) com princípios e requisitos metodológicos para a realização de estudos de ACV. As informações adicionais sobre as fases da ACV são fornecidas nas normas complementares ISO 14.041, ISO 14.042 e ISO 14.043.

As etapas metodológicas de uma ACV, descritas na ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014), são:

- Definição do âmbito e escopo: etapa na qual se define e descreve o produto, processo ou atividade; estabelece o contexto em que a avaliação deve ser feita e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação. É nessa etapa que se define também a unidade funcional, os requisitos de qualidade dos dados e a comparação entre sistemas;

- Análise do inventário do Ciclo de Vida: fase na qual se quantifica e avalia os dados de entrada e saída do inventário. É um processo iterativo no qual se avalia os materiais e o fluxo de energia gastos no processo, bem como as liberações ambientais (por exemplo, emissões atmosféricas, descarte de resíduos sólidos, descargas de águas residuais). O cálculo do fluxo de energia deve considerar as diferentes fontes utilizadas, a eficiência de conversão e a distribuição do fluxo de energia, bem como as entradas e resultados associados com a geração e utilização do fluxo de energia;
- Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: tem como objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais com base nos dados do inventário. Nessa fase, os resultados da análise do inventário são classificados e caracterizados por categorias de impacto, podendo ter os resultados agregados em casos específicos e apenas quando muito significativos;
- Interpretação do Ciclo de Vida: os dados do inventário e da avaliação do impacto ambiental são avaliados de forma conjunta visando elaborar as conclusões e recomendações.

Além das fases descritas acima, a ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014) indica ainda que são importantes: o registro dos dados e as metodologias utilizadas de forma detalhada e transparente; e a crítica dos resultados da ACV, seja por agentes internos ou externos, para evitar equívocos que possam afetar as partes interessadas.

O Inventário do Ciclo de Vida representa uma etapa muito relevante na elaboração de uma ACV, pois identifica e quantifica as entradas e saídas de um dado produto ou processo. É a partir do inventário que se avaliam os potenciais impactos, efetuam-se as análises e elaboram-se as conclusões e recomendações. Segundo o estudo sobre *Life Cycle Assessment (LCA)* da *Environmental Policy Agency (EPA)* (2006), é aconselhável que os dados de inventário representem um período de tempo longo o suficiente para suavizar quaisquer desvios ou variações nas operações normais de uma instalação.

Quanto à análise dos impactos ambientais, Harris (1999) destaca que esta pode considerar alguns indicadores, tais como: consumo de matérias-primas (conservação de recursos), fator de

escassez, potencial de reciclagem e reuso, toxicidade, influência sobre o consumo de energia, aquecimento global, destruição da camada de ozônio, chuva ácida, depleção de florestas de madeira. Porém, não há um consenso sobre o conjunto adequado de indicadores, visto que depende da disponibilidade e características de cada região.

As variáveis apontadas anteriormente reforçam o entendimento de que os bancos de dados retratam a realidade do país de coleta das informações, logo não devem ser utilizados indiscriminadamente para outra região. No entanto, a construção de bancos de dados não é procedimento simples, pois, como aponta adequadamente Moretti (2011), é necessário que sejam estabelecidos critérios comuns que possibilitem a consolidação dos resultados, ou seja, deve-se buscar uma padronização do inventário a partir do qual será possível estabelecer uma comparação entre os produtos.

Alguns países desenvolvidos já possuem bancos de dados de inventários de ciclo de vida de materiais, porém os países em desenvolvimento ainda possuem um longo caminho a percorrer. O Programa Brasileiro de Análise do Ciclo de Vida (PBACV), aprovado em 2010, tem como objetivo apoiar o desenvolvimento sustentável e a competitividade ambiental da produção industrial brasileira e promover o acesso aos mercados interno e externo. Para alcançar esse objetivo, o PBACV pretende implantar no Brasil um sistema reconhecido internacionalmente com as informações padronizadas dos inventários do ciclo de vida da produção industrial brasileira.

Na ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014) é alertado ainda que a ACV é uma das técnicas de gestão ambiental e pode não ser a mais apropriada para todas as situações, pois possui algumas limitações. Kozak (2003) aponta algumas dessas limitações:

- A dificuldade na obtenção de dados precisos, pois a precisão dos estudos pode ser limitada pela disponibilidade ou qualidade dos dados;
- As limitações de tempo e recursos que podem comprometer a integralidade e a abrangência da ACV;

- As escolhas e suposições, os limites do sistema e as interpretações dos resultados que são subjetivos por natureza.

Ferreira (2004) destaca ainda que o estudo ACV também depende de características temporais e regionais, por isto, a informação desenvolvida num estudo de ACV deve ser utilizada como uma componente de um processo de decisão que se soma com outras componentes, tais como, custo e desempenho. Logo, uma ACV não determina qual produto ou processo funciona melhor, porém aquele mais adequado para uma dada situação. Essa premissa é ainda mais relevante num país da dimensão do Brasil, com realidades e potencialidades tão diversas.

Como pode ser observado, a elaboração de uma ACV completa depende de inúmeras informações quantificadas e qualificadas desde a etapa de extração até a demolição da edificação, considerando também o descarte ou reciclagem ou reuso dos materiais. Isso implica num complexo levantamento de dados de consumo de materiais, gasto energético, produção de resíduos, emissão de gases, dentre outras informações, aferidas por um longo período.

Em função das limitações para a elaboração de uma ACV completa, inúmeras pesquisas têm sido realizadas com recortes de partes dos impactos ambientais mais relevantes, tais como, a ACVE e a ACVCO₂.

2.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida de Energia (ACVE)

A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) consiste em levantar apenas a energia gasta em cada uma das fases do ciclo de vida, conforme apresentado na Figura 2.6. É uma forma simplificada de análise dos impactos ambientais, visto que qualquer atividade de extração, produção, transporte, uso ou descarte dos materiais implica em uso de energia. Tavares (2006) sugere o uso deste inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos como uma forma de levantamento dos impactos ambientais, porém ressalta que este não visa substituir um método de análise ambiental amplo como uma ACV.

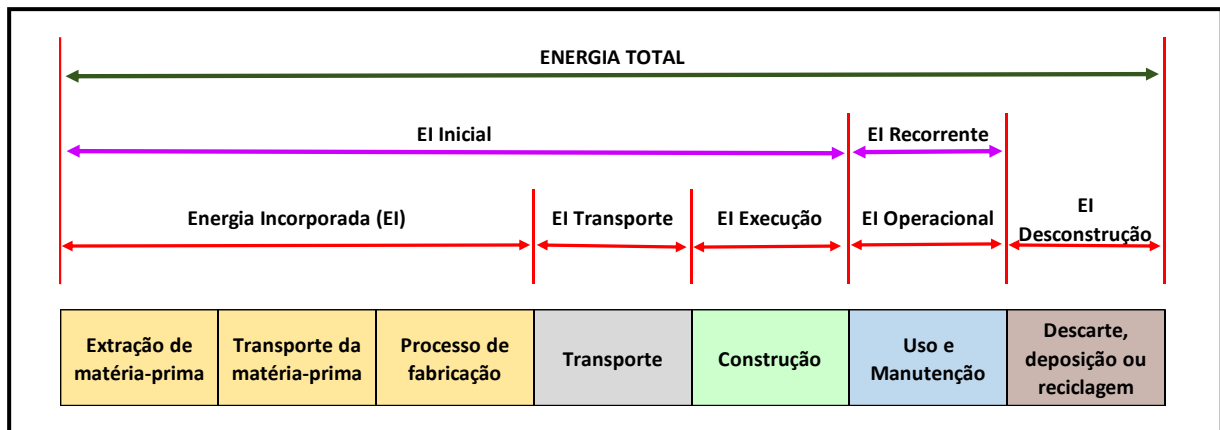


Figura 2.6: Energia Incorporada no ciclo de vida de uma edificação (adaptado de Sartori e Hestnes, 2007)

Cada etapa do ciclo de vida de uma edificação apresenta um consumo de energia que pode, a partir da Figura 2.6, ser conceituada como:

- Energia Incorporada (EI): soma de toda a energia necessária para fabricar um produto e geralmente é expressa em termos de energia primária.
- Energia Transporte (ET): é a energia gasta para o transporte do produto ou material até o sítio de construção.
- Energia de Execução (EEx): aquela demandada para instalação (etapa de execução) do material ou serviço na construção.
- Energia Incorporada Inicial (EIi): soma de toda a energia incorporada dos materiais usados na construção, incluindo também o gasto energético com o transporte e as instalações na construção.
- Energia Incorporada Operacional (EO) ou Recorrente (ER): energia utilizada para operar o edifício, ou seja, é aquela necessária para o uso de eletrodomésticos e equipamentos durante a vida útil da edificação, tais como climatização, cocção, iluminação e outros; somada ao gasto energético de manutenção da edificação.

- Energia de Desconstrução (ED): energia consumida na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem.
- Energia Total (ET): é a soma de toda a energia consumida pelos edifícios (incorporada, operacional e de desconstrução) durante o seu ciclo de vida, multiplicada pelo tempo de vida.

O Relatório da UNEP (2007), por sua vez, divide em cinco fases os tipos de Energia existentes no ciclo de vida da Construção:

- 1ª Fase: energia de manufatura de materiais e componentes da construção, denominada de Energia Embutida;
- 2ª Fase: energia para transporte dos materiais e componentes para o local da obra, denominada Energia Cinza;
- 3ª Fase: conhecida como Energia Induzida que é aquela usada na construção da edificação;
- 4ª Fase: energia gasta na fase de uso da edificação;
- 5ª Fase: energia que é consumida na fase de demolição, bem como na reciclagem.

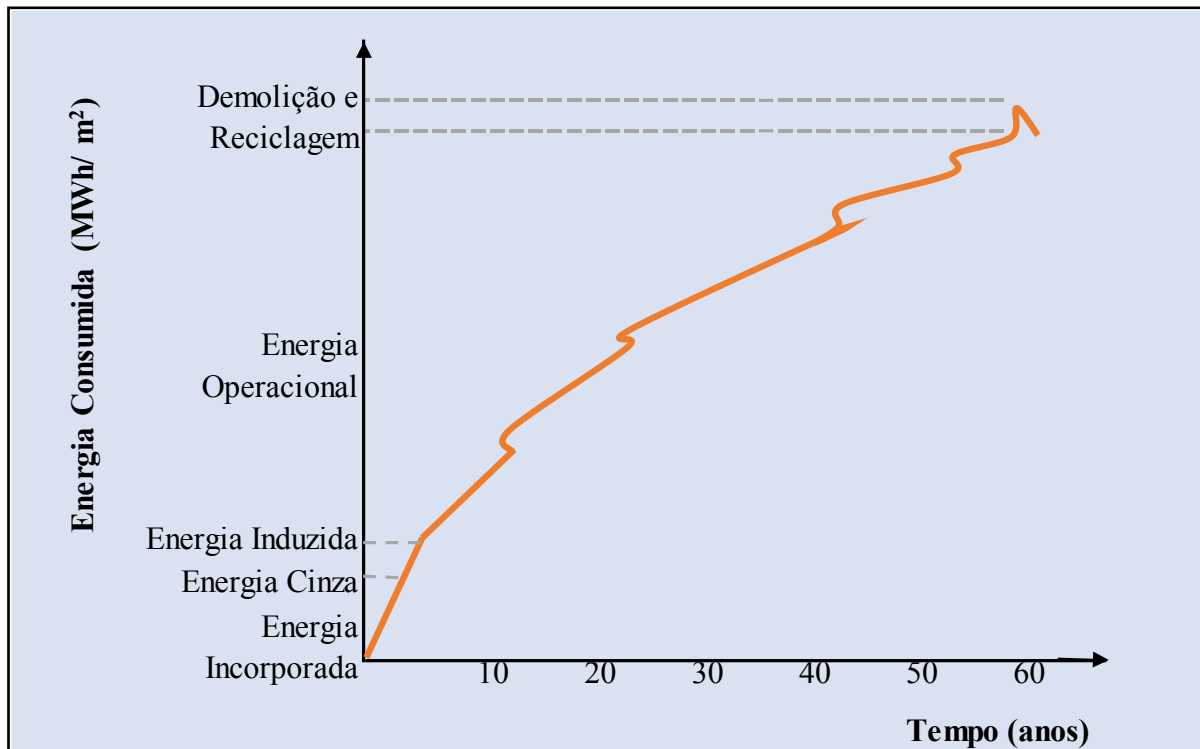


Figura 2.7: Energia consumida nas diversas etapas do ciclo de vida da edificação (adaptado de UNEP, 2007)

Esse relatório alerta ainda que os gastos podem ser diferentes em cada país, porém algumas tendências de consumo podem ser observadas no Figura 2.7: a energia embutida apresenta um acentuado e rápido gasto energético nos primeiros anos da edificação, porém o maior montante de energia demandada concentra-se na fase de operação. Nessa etapa, a inclinação da curva é menor, mas o período é mais longo, resultando em maior consumo de energia. Na etapa de demolição e reciclagem observa-se uma redução da energia gasta ocasionada, provavelmente, pelo reaproveitamento parcial ou total dos materiais.

A bibliografia pesquisada demonstra que a etapa mais representativa de gasto de energia é a operacional, correspondendo a uma faixa de 57 a 89% do consumo total, conforme dados apresentados em diversos estudos (UNEP, 2007; Ramesh, 2010; Tavares, 2006).

Essa energia consumida durante o ciclo de vida dos materiais pode ser levantada em forma de energia primária ou secundária, sendo:

- a. Energia primária - energéticos fornecidos pela natureza na sua forma direta, tais como: petróleo, gás natural, lenha, carvão metalúrgico, urânio, energia hidráulica, entre outras;
- b. Energia secundária - utilizam matéria-prima para obtenção de energia, resultante dos diferentes centros de transformações, tais como: derivados de petróleo e de gás natural, carvão vegetal e eletricidade.

Em função disso, no levantamento da energia despendida em cada etapa deve ser observado o tipo de energia consumida para posterior aplicação do fator de correção e cálculo da energia total. Sartori e Hestnes (2007) denominam o fator de conversão (ou correção) como sendo um coeficiente multiplicativo que converte valores de energia secundária em primária, variando conforme a fonte energética e o país.

Em virtude do consumo predominante de energia na fase de operação somado ao fato de que a etapa de desconstrução, no cenário atual, não representa um peso significativo da energia total, optou-se, na pesquisa atual, por uma ACVE das fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção.

2.2.2 Estudos internacionais sobre Avaliação do Ciclo de Vida de Energia (ACVE)

Nesse capítulo são apresentados alguns estudos internacionais sobre a ACVE de edificações habitacionais e sistemas de vedação horizontal que poderão fundamentar as análises posteriores dos gastos energéticos dos cenários propostos nesse estudo.

Ramesh et al. (2010) ao avaliar edificações multifamiliares da Índia construído com concreto armado e a envoltória em alvenaria com tijolo de argila queimado, observou que a energia incorporada inicial da edificação foi de 7,35 GJ/m². Além disso, comparando ao longo da vida útil, concluiu que a energia incorporada é de cerca de 11% da energia operacional. O aço é responsável por 34% da energia incorporada inicial, o cimento 25% e de tijolo 24%. A ACVE do edifício estudado, com área de 2.960 m² e considerando 75 anos, é 75,07 GJ/m². A fase de operação é responsável por 89% do consumo de energia e a refrigeração do ambiente é o maior contribuinte (45%) da energia operacional seguido de iluminação com 29%.

Ainda nesse estudo, os autores concluíram que a construção de paredes (27%) e telhado (23%) contribuem com grande carga energética, por isto, a transmitância térmica das paredes e do telhado deve ser reduzida através da aplicação de algum tipo de isolamento. Cabe destacar que essa solução pode não ser a mais eficiente para o comportamento higrotérmico das construções brasileiras. Esses autores concluíram ainda que o gasto energético anual é de 279 KWh/m². Edificações habitacionais com vários andares apresentam menor gasto energético (270 – 280 KWh/ano.m²) do que térreas. (300 - 330 kWh/ano.m²).

Haynes (2010) calculou que a energia incorporada de uma edificação típica da Austrália é de 2,60 GJ para uma vida útil de 50 anos. O autor definiu também o percentual de energia por áreas de construção e observa que a cobertura tem uma participação de 10% (ver Figura 2.8).

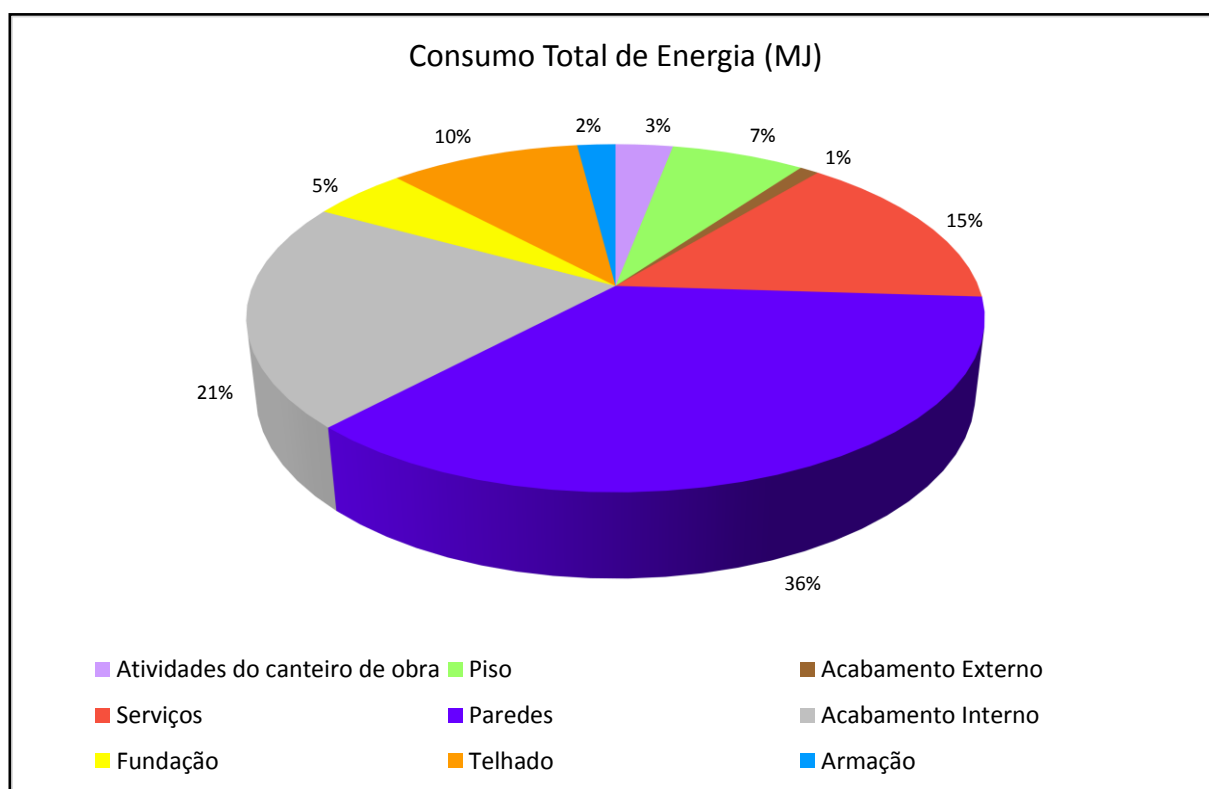


Figura 2.8: Energia de Uso total por área da edificação (adaptado de Haynes, 2010)

Esse estudo apresenta também o percentual da energia incorporada por tipo, sendo que a maior participação está nos materiais, seguido pela energia recorrente. Grande parte da energia recorrente é demandada pelo “Acabamento Interno” atribuída pela necessidade de pintura. Uma maneira de reduzir este gasto de energia seria eliminar superfícies que necessitam de pintura

(tetos de madeira bruta, concreto polido etc). A construção e o transporte são as etapas que demandam menor energia.

No tocante aos materiais isolantes térmicos, Relatório da Comissão Europeia (2010) sobre a energia incorporada de fabricação de diversos materiais isolantes demonstrou que o EPS possui um consumo energético de 88,6 MJ/kg do berço-ao-portão. Esse valor é o mais alto entre os materiais pesquisados para mesma condição, conforme exposto na Tabela 2.2 e quando aplicado em telhado, a energia incorporada do EPS em 100 m² é de 33,32 MJ. No entanto, esse relatório alerta que a espessura de material necessária para alcançar determinada resistência térmica pode aumentar significativamente o valor final de energia em relação a um outro material.

Tabela 2.2 – Energia Incorporada de um grupo de materiais isolantes (adaptado do Relatório da Comissão Europeia, 2010)

Material	Energia Incorporada (MJ/Kg)
Celulose	0,94 – 3,3
Cortiça	4,00
EPS	88,6
Lã mineral	16,60
Poliuretano	72,10
Lã de madeira (placa)	20,00
Lã de reciclagem	20,90

Esse estudo europeu alerta ainda que o pentano, usado na produção do EPS, apesar de não agredir a camada de ozônio como o hidrofluorcarbonetos e o clorofluorcarbonetos em nível de estratosfera, tem potencial de criação de ozono, quando na presença de gases NO_x, em nível de troposfera.

Ruukki (2012) desenvolveu o *Environmental Protection Declaration* (EPD), na Finlândia, sobre os painéis de poliestireno revestidos com chapas de aço (Figura 2.9). Nesse caso, são utilizadas bobinas de aço laminadas a quente e dependendo do tipo de aço fabricado, o processo siderúrgico utiliza aproximadamente 22% de material reciclado. Os painéis são embalados com paletes de madeira, com correias e invólucro de plástico, almofadas de canto e papelão e as faces

dos painéis são protegidos com filme plástico. O transporte dos produtos acabados é realizado de forma combinada em rodovias (caminhões) e ferrovias.

A produção de aço utiliza resíduos da própria empresa e material adquirido no comércio de sucata de aço, logo a pré-fabricação resulta em desperdício mínimo no local da construção. Os painéis sanduíche não danificados podem ser reutilizados em aplicações menos exigentes; e aqueles danificados podem ser desmontados.

O aço, o EPS, poliisocianurato (PIR) e poliuretano (PUR), usados na fabricação do painel, são materiais recicláveis. Todos os materiais de embalagem também são recicláveis. O perfil ambiental do produto é calculado do berço-ao-portão, considerando desde a extração dos minérios e 90% de taxa de reciclagem do aço. A compensação da reciclagem é calculada subtraindo a carga ambiental da produção de matéria-prima secundária (ou seja, a reciclagem) a partir de que a produção primária (isto é, a refinação do minério).

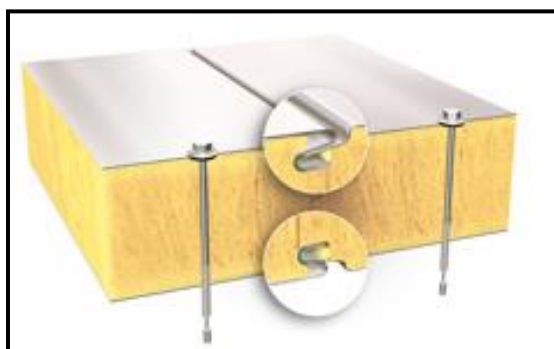


Figura 2.9: Painel Sanduíche SPA (Ruukki, 2012)

Segundo os estudos da Ruukki (2012), a energia utilizada para a fabricação do painel SPB200S, que possui núcleo de EPS, é de 422 MJ/m², conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Dados de Energia para produção de painéis SPB200S da empresa Ruukki
(adaptado de Ruukki, 2012)

Produto Rukki (nome)	SPB200S	
U (W/m ² K)	0,17	
Peso do painel (Kg/m ²)	11,5	
USO DE RECURSOS		
Energia		
Não renováveis	404	MJ/m ²
Renováveis	18,3	MJ/m ²
Total	422	MJ/m ²
Matéria-Prima (excluindo água)		
Não renovável	10500	g/m ²
Renovável	22,3	g/m ²
Total	10500	g/m ²

Estudo realizado por Pargana (2012) para isolamentos térmicos usados nas fachadas de prédios de Portugal apontam um resultado de 57,57 MJ por 0,55 Kg de EPS, ou seja, 104,67 MJ/Kg. Esse levantamento desconsidera a energia primária proveniente da reciclagem.

Zinzi e Agnoli (2011) pesquisaram as condições térmicas e de energia demandada nos seguintes tipos de coberturas: convencionais, frias e verdes. O estudo foi realizado no Mediterrâneo, uma zona de clima ameno, onde os diferentes níveis de chuva e de perfis de temperatura do ar podem levar a diversas tecnologias de construção. Foram analisadas duas tipologias de edificações habitacionais amplamente utilizadas na região do Mediterrâneo: geminadas de dois andares e isoladas térrea; com e sem isolamento. A condição de isolamento é indicada pela característica dos sistemas de vedação, conforme Tabela 2.4:

Tabela 2.4 – Propriedades térmicas dos elementos de vedação (Autor)

Elemento de vedação	Sem isolamento U (W/m ² K)	Com Isolamento U (W/m ² K)
Parede	1,4	0,7
Teto	1,4	0,6
Piso do terreno	1,7	0,8
Vidro das Janelas	2,8	1,8
Moldura das Janelas	5,9	4,7

A análise é realizada para três cidades da região (Barcelona, Palermo e Cairo), por meio do *Interface Builder*, que se baseia no cálculo *Energy Plus Motor*. A Tabela 2.5 apresenta os

resultados de aquecimento, resfriamento e demanda de energia para edificações habitacionais geminadas ou isoladas e a primeira coluna inclui a localidade, nível de isolamento e tipo de telhado, sendo:

Bar – Barcelona;

Pal – Palermo;

Cai - Cairo;

Padrão – modelo de referência;

CR – Cold (Frio) – são materiais com alta refletância solar e alta emissividade térmica;

GR – Green (Verde) – usam folhagem para proteger a edificação;

CR Low-e - camada metálica com refletância de 0,65 e emissão térmica solar de 0,4;

Iso – isolamento

Não iso – sem isolamento

Esses autores concluíram que a comparação dos resultados finais é afetada pelo fato de Barcelona ser a cidade mais fria entre as três selecionadas. Nessa cidade, a solução mais eficiente para casa isolada é o telhado metálico CR Low-e, ocasionando uma economia de 7% de energia. No caso do telhado verde, a economia foi ligeiramente mais baixa (6,2%). O telhado verde é a técnica mais eficaz para a configuração sem isolamento, com uma redução de energia de aproximadamente 12%, devido ao isolamento extra da camada de solo e vegetação. O telhado frio é a técnica mais eficiente de resfriamento, necessitando de praticamente nenhum sistema de refrigeração para as duas configurações. O impacto sobre a demanda de energia é negativo para as duas configurações, por causa do aumento da necessidade de aquecimento devido aos ganhos solares reduzidos através do telhado.

Em Palermo, o telhado frio é a melhor solução de desempenho para a habitação isolada, com economia aproximada de 15%. O telhado denominado com CR low-e fornece uma economia de 10% de energia, enquanto vantagens limitadas são obtidas no uso do telhado verde. Os resultados encontrados para as três soluções são muito próximos, com economia de aproximadamente 11% de energia.

Tabela 2.5 – Resultados de Energia para cenários distintos em cidades do Mediterrâneo (adaptado de Zinzi e Agnoli, 2011)

Cidade e Técnica de teto	Casa geminada			Casa isolada			Dif. do Padrão (%)	Energia (KWh/m ² /y)	Resfriamento (KWh/m ² /y)	Aquecimento (KWh/m ² /y)	Energia (KWh/m ² /y)	Dif. do Padrão (%)
	Aquecimento (KWh/m ² /y)	Resfriamento (KWh/m ² /y)	Energia (KWh/m ² /y)	Aquecimento (KWh/m ² /y)	Resfriamento (KWh/m ² /y)	Energia (KWh/m ² /y)						
Bar-iso-Padrão	-23,2	4,2	27,4	0,0	0,0	-33,2	8,4	41,6	0,0			
Bar-iso-CR	-27,3	1,5	28,9	-5,3	-40,6	43,8	3,2	5,4				
Bar-iso-CR e-inf	-22,3	3,2	25,5	6,8	-33,3	39,8	6,5	4,3				
Bar-iso-GR	-21,3	4,4	25,7	6,2	-32,5	38,3	5,9	7,8				
Bar-não-iso-Padrão	-44,1	6,0	50,1	0,0	-71,9	79,8	7,9	0,0				
Bar-não-iso-CR	-54,2	0,9	55,1	-10,0	-89,6	90,7	1,1	-13,7				
Bar-não-iso-CR e-inf	-44,3	3,7	48,0	4,2	-71,9	76,7	4,8	3,8				
Bar-não-iso-Gr	-38,9	5,4	44,3	11,6	-68,5	72,1	3,6	9,6				
Pal-iso-Padrão	-8,2	10,1	18,3	0,0	-11,4	30,6	19,2	0,0				
Pal-iso-CR	-10,9	4,7	15,6	14,9	-16,0	25,5	9,5	16,7				
Pal-iso-CR e-inf	-8,4	8,2	16,6	9,1	-11,7	27,6	16,0	9,7				
Pal-iso-Gr	-7,0	10,7	17,7	3,2	-11,4	29,4	18,0	3,8				
Pal-não-iso-Padrão	-18,6	114,4	32,9	0,0	-30,4	51,1	20,7	0,0				
Pal-não-iso-CR	-25,5	3,6	29,1	11,7	-42,6	48,4	5,8	5,3				
Pal-não-iso-CR e-inf	-19,1	10,1	29,2	11,4	-31,1	45,9	14,8	10,2				
Pal-não-iso-Gr	-15,6	13,8	29,3	10,8	-29,9	46,6	16,8	8,9				
Cai-iso-Padrão	-3,2	19,7	23,0	0,0	-4,1	41,1	37,0	0,0				
Cai-iso-CR	-4,9	10,7	15,6	32,2	-6,9	29,1	22,2	29,0				
Cai-iso-CR e-inf	-3,3	17,0	20,3	11,5	-4,2	36,6	32,4	10,9				
Cai-iso-Gr	-2,6	19,9	22,5	2,0	-3,2	39,9	36,7	2,8				
Cai-não-iso-Padrão	-8,4	27,7	36,2	0,0	-13,0	57,2	44,2	0,0				
Cai-não-iso-CR	-13,3	7,7	21,0	41,7	-21,8	40,0	18,2	30,1				
Cai-não-iso-CR e-inf	-8,6	21,6	30,2	16,4	-13,1	48,5	35,5	15,1				
Cai-não-iso-Gr	-6,6	24,8	31,4	13,0	-10,0	49,2	39,2	13,9				

No Cairo, o telhado frio dá os melhores resultados no verão e em todo o ano, com uma redução da demanda total de energia entre 30% e 40%, para as duas configurações de construção. Os telhados frio e verde garantem economia de energia entre 11% e 18%, exceto o telhado verde com isolamento, uma vez que o isolamento extra não leva à redução de energia em climas quentes.

A edificação geminada apresenta resultados ligeiramente diferentes em comparação com a habitação isolada. Esta tipologia é caracterizada por elevadas exigências de energia de aquecimento e de arrefecimento. A necessidade de aquecimento é ainda mais predominante em Barcelona. A cobertura verde provoca redução de aquecimento e arrefecimento, com economia anual de cerca de 8-10% em relação ao padrão, tanto para a configuração isolada ou sem isolamento. O telhado frio com CR low-e garante, às edificações isoladas, uma poupança anual de energia de cerca de 4% em ambas as configurações. O impacto do telhado frio é negativo em base anual, mas a economia de refrigeração estimada está entre 60% e 85%.

Os resultados obtidos para Palermo e Cairo demonstram que as técnicas de telhado refletoras garantem uma economia de energia líquida total de 17% e 10%, tanto para as configurações com ou sem isolamento. O telhado verde reduz o aquecimento e as necessidades de refrigeração com uma economia de 10% de energia para a condição sem isolamento de configuração. Cairo é caracterizada por um resfriamento do clima e o telhado frio tem as melhores performances com uma redução de 30% da demanda de energia líquida anual. Economias significativas são obtidas também com o telhado CR low-e e o verde, sendo que esta última é apenas para a configuração de não-isolamento, com economia anual de energia entre 10% e 15%.

Os autores concluíram também que os resultados específicos da demanda de energia de construção isolada podem ser aplicados para o último andar das habitações com vários andares com boa precisão.

Em pesquisa realizada por Hubermann (2013) para edificações do Negev, o autor verifica que a energia incorporada de um edifício residencial pode ser melhorada pela alteração da forma do telhado. Uma combinação de análise estrutural e de ACVE foi desenvolvida e implementada para identificar parâmetros geométricos chave e avaliar alternativas, para uma laje não-plana de telhado com materiais convencionais. Os resultados mostram que a economia é

insignificante para pequenos vãos, mas são substanciais para cinco metros ou mais e para grandes vãos de 10 metros; a economia em relação a um telhado plano pode ser da ordem de 40%.

Steÿn e JJSteÿn (2013), na África do Sul avaliaram a energia incorporada de três tipos de telhados para uma habitação padrão: telha de concreto, telha de chapa galvanizada e palha. O cálculo da energia incorporada de diferentes materiais demonstrou que os telhados de palha são a melhor escolha em termos de meio ambiente. Em termos de energia incorporada, um telhado de sapé usa 398 milhões de Joules, sendo que a telha de concreto usa 9.478 milhões de Joules e a folha zincada, 26.790 milhões de Joules.

2.2.3 Estudos nacionais sobre Avaliação do Ciclo de Vida de Energia

Dentre os diversos estudos nacionais sobre a ACVE, destaca-se a tese de Tavares (2006) que teve como objetivo desenvolver uma metodologia para Análise do Ciclo de Vida Energético de edificações habitacionais brasileiras. Essa pesquisa é uma referência em dados de energia incorporada de diversos materiais para a realidade nacional. Ainda em 2006, Graf e Tavares elaboraram um artigo sobre a energia incorporada dos materiais de um projeto-padrão brasileiro estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 12.721:2006. Os cálculos desse trabalho resultaram num valor total de 5,7 GJ/m² da edificação construída.

Manfredini e Satler (2005) estudaram os impactos ambientais da produção de materiais de cerâmica vermelha no estado do Rio Grande do Sul. A energia consumida nas fábricas de telhas e blocos foi de 1,553 kWh/kg. No entanto, na fabricação exclusiva de telhas, o valor obtido foi de 2,703 kWh/kg, dados esses que segundo os autores, estão acima dos valores citados na bibliografia internacional consultada, que variam de 1,519 kWh/kg a 1,750 kWh/kg.

Monich (2012) avaliou a energia e o carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada no sistema Wood Frame na Cidade Industrial de Curitiba, utilizando madeira de florestas plantadas. O valor de energia embutida encontrada foi de 2,96 MJ/m².

Yoshimura et al. (2012), ao avaliarem o ciclo de vida das telhas ecológicas à base de papel reciclado, identificou que o consumo de energia desse material é de 107,9 GJ para produção de 1000 m² de telhas ecológicas. O ciclo de vida dessas telhas inclui a produção, uso, distribuição e disposição final. A produção é em Poços de Caldas/MG e a instalação em diversas capitais brasileiras.

Quiroa Herrera (2013) analisou a energia de quatro tipos de moradias brasileiras: bloco cerâmico - telha cerâmica; bloco cerâmico - telha de fibrocimento; bloco de concreto - telha cerâmica; e bloco de concreto - telha de fibrocimento. O conjunto com maior energia incorporada Inicial é o tijolo cerâmico-telha cerâmica com 227,58 GJ e o menor é o bloco de concreto – telha de fibrocimento com 186,57 GJ. Quanto ao gasto energético anual, os maiores consumos foram do tijolo cerâmico - telha cerâmica com 0,16 GJ e bloco de concreto - telha cerâmica, com 0,17 GJ. Os cenários com menores consumos são: bloco de concreto – telha fibrocimento e tijolo cerâmica – telha de fibrocimento, ambos com 0,14GJ.

Pereira (2014) comparou a energia dispendida na fase pré-operacional da cobertura verde com telhas cerâmicas e de fibrocimento em Porto Alegre/RS e Santa Maria/RS. Nesse estudo, as coberturas verdes apresentaram melhores desempenhos quanto ao conteúdo energético na fase pré-operacional com valores de 299, 24 MJ/m² em Porto Alegre e 81,59 MJ/m² para Santa Maria. A telha cerâmica apresentou valores de: 430,71 MJ/m² e 474,87 MJ/m² para Porto Alegre e Santa Maria, respectivamente. A telha de fibrocimento tem gasto energético de 317,74 MJ/m² e 333,93 MJ/m² para Porto Alegre e Santa Maria, respectivamente.

Habib (2014) avaliou a eficiência energética da implantação de isolamento térmico em paredes e tetos para uma residência padrão (R1-N com 3 dormitórios), com 106,44m² de área em Curitiba – PR. A pesquisou demonstrou que a aplicação da lã de rocha é viável para redução da energia de operação relativa ao aquecimento, sendo que o tempo de retorno da Energia Incorporada é inferior a um ano, tendo-se assim uma economia de energia até o final do ciclo de vida da edificação. Dentre os quatro modelos estudados, aquele com lã de rocha tem EI de 366,14 GJ, resultando numa economia de 89,80 GJ por ano e 4,49 TJ ao final do ciclo de vida.

Anicer (2011) publicou um estudo comparativo entre telha cerâmica e de concreto. Este trabalho concluiu que a telha cerâmica apresenta impacto menor do que a de concreto. O esgotamento de energia não-renovável da telha cerâmica é cerca de 40% da telha de concreto.

Bandeira (2015) analisou a influência dos sistemas de fachadas vivas em manta no ciclo de vida energético de uma edificação residencial unifamiliar de 46,35m², na cidade de Vitória, Espírito Santo. Esse estudo demonstrou que a cobertura com fachada viva em todas as paredes externas resultou em maior economia de energia com climatização, mas gerou um gasto energético inicial e com manutenção muito grande, sendo mais viável avaliar as condições de orientação do edifício e escolher uma fachada. A autora conclui ainda que no caso de outras edificações, tais como prédios, por exemplo, as paredes externas recebem maior influência do ambiente externo, e o uso de fachadas vivas torna-se mais viável.

As dissertações e teses citadas não esgotam a lista de pesquisas realizadas e visam demonstrar a diversidade de temas abordados. As pesquisas realizadas no âmbito do PECC/UnB já foram citadas na seção 1.6.

2.2.4 Normalização sobre ACV e ACVE no Brasil

A norma atualmente usada no país como referencial para ACV é a ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014). Em 2002, foi fundada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) e em 2010 foi regulamentado o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) por meio da Resolução Conmetro nº 04/2010, do MDIC. Esse programa estabelece diretrizes no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro), para dar continuidade e sustentabilidade às ações de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. Com esse Programa pretende-se, entre outros objetivos, implantar no Brasil um sistema com informações padronizadas sobre Inventários do Ciclo de Vida da produção industrial brasileira; disponibilizar e disseminar a metodologia de elaboração de inventários brasileiros; e elaborar os inventários base da indústria brasileira.

Em 2006, iniciou-se o projeto do Sistema de Inventário do Ciclo de Vida (SICV), ação fundamental para o conhecimento das características do ambiente brasileiro. Não foi detectado no PBACV ações destinadas a normalização da ACVE.

2.3 DESEMPENHO TÉRMICO

2.3.1 Desempenho térmico das Edificações Habitacionais

O objetivo desta pesquisa é calcular o gasto energético da edificação, porém o desempenho térmico também é avaliado visto que é um dado relevante no processo de escolha dos materiais considerando-se o conforto térmico dos usuários.

No Brasil, a ABNT NBR 15.575-1:2013 define os critérios para a avaliação de desempenho térmico das edificações habitacionais, bem como dados sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno a serem utilizadas em simulação computacional. Esta norma é utilizada como referência para os procedimentos de cálculo do desempenho térmico desta pesquisa.

Neste estudo são consideradas as seguintes Normas da Associação Brasileiras de Normas Técnicas:

- NBR 15.575-1:2013 - Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais: estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos.
- NBR 15.575-5:2013 - Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.
- NBR 15.220:2005– Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.
- NBR 15.220-2:2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

- NBR 15.220-3:2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- NBR 16.373:2015 - Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho - estabelece os requisitos de classificação de desempenho para especificação, encomenda, fabricação e fornecimento de telhas metálicas, a partir de aço galvanizado, galvalume, alumínio e aço inoxidável de seção ondulada ou trapezoidal, zipada ou painéis metálicos, camada de material isolante com características térmicas e acústicas e de flamabilidade.

2.3.2 Zonas bioclimáticas

A ABNT NBR 15.575-1:2013 define as diversas zonas bioclimáticas do Brasil, sendo que a região de Brasília, local da pesquisa, pertencente a zona bioclimática 4 e com base neste dado, é possível destacar, na norma, os requisitos e critérios estabelecidos para o desempenho térmico desta localidade.

2.3.3 Parâmetros de desempenho térmico

A ABNT NBR 15.575:2013 estabelece os seguintes parâmetros de desempenho térmico:

a. Condição de Verão:

O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada (salas e dormitórios), sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, conforme apresentado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (ABNT NBR 15.575-1:2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p>$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

b. Condição de Inverno:

Para as zonas bioclimáticas de 1 a 5, as condições térmicas no interior do edifício habitacional devem ser melhores que do ambiente externo, no dia típico de Inverno. Os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada (sala e dormitórios), devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C, no dia típico de Inverno, conforme exposto no Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno (ABNT NBR 15.575-1:2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3o C)$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Para definição dos dias típicos, foram verificadas aqueles com maior e menor temperatura durante o ano, segundo os dados climáticos do LabEEE e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A tabela do LabEEE, para a região do DF, apontou o dia 11/09 como o mais quente do ano. Os dados do INPE também demonstram que setembro é o mês mais quentes do Distrito Federal com temperaturas médias de 28,3°C, enquanto os meses de verão apresentam temperatura na faixa de 26,2 a 26,9°C. Logo foi utilizada o dia 11/09 para análise dos dados de Verão por representar uma situação de temperatura mais alta e para o Inverno, foi considerado

o dia 22/06. Para esses dois dias, foram avaliados os ambientes de longa permanência (sala, dormitório 1 e dormitório 2), conforme os requisitos da ABNT NBR 15575-1:2013.

c. Condição de Transmitância Térmica

Os valores da transmitância térmica são calculados em função da absorvância do material (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 – Parâmetros de Transmitância Térmica (ABNT NBR 15.575-5: 2013)

Transmitância térmica (U) W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV

Sendo:

α – absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura

FV – fator de ventilação é estabelecido na ABNT NBR 15.220-3:2005.

2.3.4 Conforto Térmico

ASHRAE (2009) caracteriza o conforto térmico como o estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico, sendo esse julgamento um processo cognitivo, influenciado por aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros.

Lamberts et al. (2011) afirmam que ocorrem constantes trocas térmicas do corpo (Figura 2.10) com o meio e se esse balanço for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

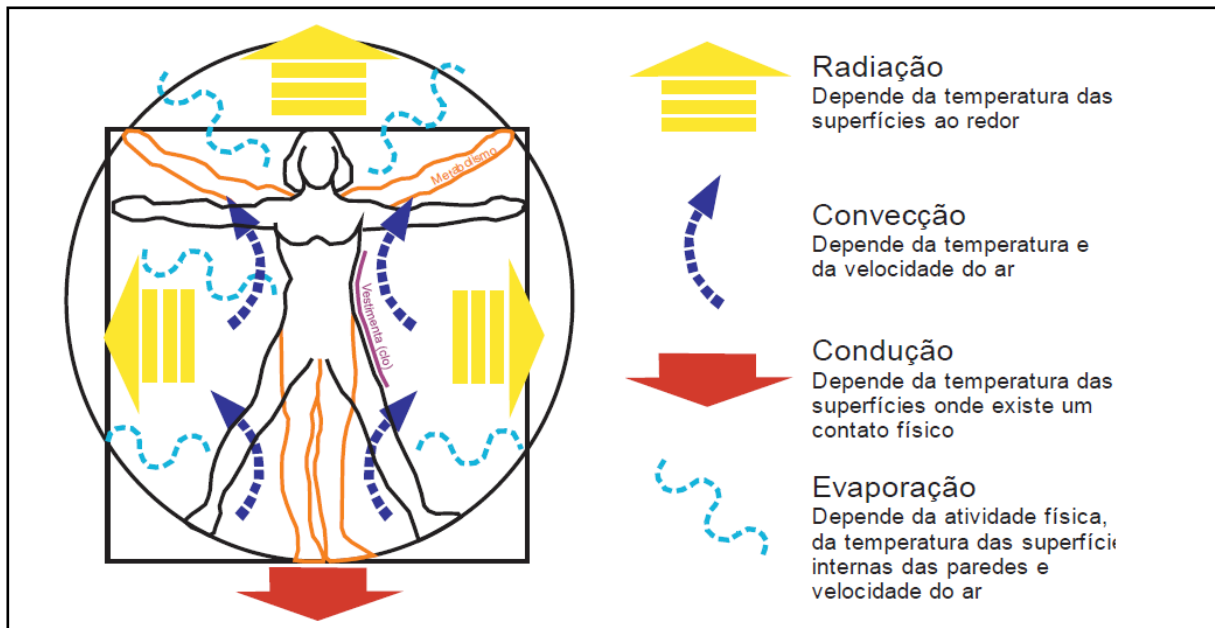


Figura 2.10 - Representação esquemática da fisiologia humana e das trocas térmicas (Lamberts, 2011)

Dias (2011) esclarece que se procura determinar as condições e os vários graus de conforto e desconforto por frio ou calor, por meio de índices de conforto térmico. Essas condições de conforto estão ligadas a uma série de variáveis, sendo estas classificadas como humanas, quando determinadas pelo metabolismo gerado pela atividade física do indivíduo e por sua vestimenta; e ambientais quando determinadas pelas variáveis climáticas (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e pressão parcial do vapor d'água no ar ambiente).

Todavia, como exposto por Lamberts (2011), devido às diferenças individuais, é impossível especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos, mas busca-se criar condições de conforto, nos quais a maior porcentagem de pessoas esteja em conforto térmico. Apesar dessas diferenças, esse autor propõe as seguintes zonas de conforto.

- Para pessoas nuas: Zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 29°C e 31°C;
- Para pessoas vestidas com vestimenta normal de trabalho (Isolamento = 0,6 clo): zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 23° e 27°C.

Givoni (1992) informa que o conforto térmico depende de diversos fatores: condicionamento das pessoas aos clima onde vivem; se o prédio é residencial ou comercial; e também da velocidade de vento. Esse autor sugere, para países desenvolvidos, a temperatura de 29,7°C quando a velocidade de vento é 1,5 m/s e de 30°C para velocidade de 2 m/s, nos países desenvolvidos. As faixas de temperatura sugeridas como aceitáveis para países desenvolvidos considerados quentes são 18-27 ° C no inverno e 20-29 ° C em verão.

Com base nas pesquisas realizadas e observando que se trabalha com faixas de valores de temperatura que alcancem o maior percentual de pessoas em conforto térmico, essa pesquisa adota o valor de 24°C, temperatura a partir da qual o *software Design Builder* considera que é acionado o condicionamento térmico. A temperatura de 24°C representa a média de Givoni (1992) para verão, tendo sido adotado esse valor por ser o Brasil um país predominantemente quente.

2.4 SISTEMAS DE VEDAÇÃO HORIZONTAL

O sistema de vedação horizontal (Cobertura) é a parte da edificação que fica mais exposta a ação do Sol, influenciando determinadamente no Desempenho térmico de uma habitação, por isto, a importância de conhecer este componente.

Segundo Silva (2005), em meados dos séculos XVI e XVII as telhas de barro eram fabricadas pelos escravos e a partir de meados de 1930, estas telhas passaram a ser industrializadas. No final do século XIX, foi iniciada a fabricação de telhas de fibrocimento e atualmente existem inúmeros tipos de coberturas no mercado: metálica, vidro, concreto, fibra vegetal, policarbonato, plástico, dentre outras. Esses diversos produtos devem atender as especificações de Desempenho estabelecidas na ABNT NBR 15.575-5:2013, porém, essa norma técnica é relativamente recente e, conseqüentemente, poucos são os estudos sobre sistema de vedação horizontal para os atuais produtos disponíveis no mercado.

Esta pesquisa estuda dois tipos de telhas termoacústicas com núcleo de EPS, comparando-as com a telha cerâmica tipo Plan. As características destas telhas estão descritas a seguir:

A. Telha termoacústica com núcleo de poliestireno expandido

As telhas termoacústicas são, em linhas gerais, produzidas com um material isolante na sua parte interna aplicado entre duas chapas externas metálicas ou de outros materiais, tais como poliuretano. O uso do material isolante objetiva o isolamento térmico e acústico, e conseqüentemente, busca melhorar a condição interna da edificação. Os materiais usualmente utilizados como isolantes são de três tipos: materiais inorgânicos, orgânicos e metálicos ou membranas refletivas. No grupo dos materiais inorgânicos encontram-se a fibra de vidro e a lã rocha, o silicato de cálcio e a vermiculite. O segundo grupo se divide em dois, materiais fibrosos e celulares, formados por celulose, algodão, madeira, fibras sintéticas e poliestireno, poliuretano e outros polímeros.

Segundo Dias (2011), a característica comum desses materiais é a capacidade de redução da transferência de calor por condução. A resistência térmica desses materiais é devida principalmente à grande quantidade de ar, presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares; ou ainda a presença de outros gases nos seus poros, com condutividade menor que a do ar.

No caso em estudo, foram escolhidos dois tipos de telhas termoacústicas com núcleo de poliestireno expandido (ver Figura 2.11) sendo que uma é com acabamento de aço nas duas faces (Telha Termoacústica aço/aço) e outra com aço na parte externa e filme de alumínio na parte interna (Telha Termoacústica aço/filme). O esquema de produção do aço e EPS, principais componentes dessas duas telhas, é apresentado no Apêndice B.

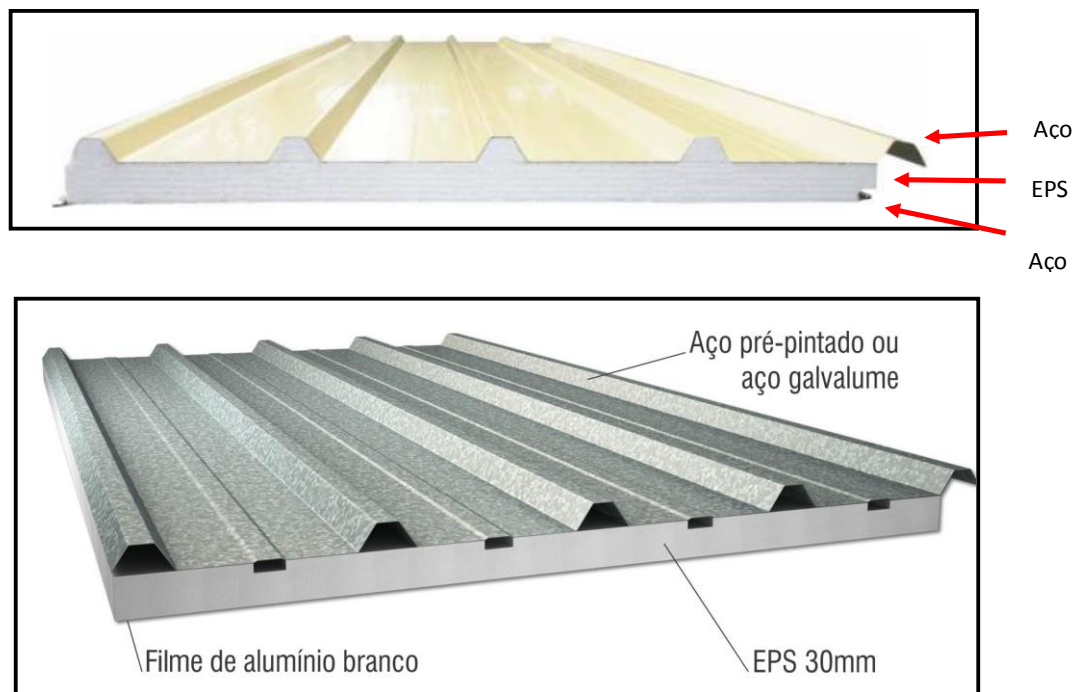


Figura 2.11 - Visão geral das telhas metálicas com núcleo de poliestireno expandido (adaptado do catálogo do fornecedor, 2015)

Segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (2015), o EPS é composto de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro que, quando expandidas, consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno, ou seja, em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar. Esta característica dificulta a troca de calor com o meio, o que justifica o bom desempenho das telhas termoacústicas em condições de verão.

O poliestireno expandido, segundo dados da Abrapex (site da Abrapex acessado em 20 de abril de 2015), não é biodegradável, mas é 100% reciclado podendo ter diversas aplicações.

O processo fabril da telha termoacústica com núcleo de EPS é constituído das seguintes etapas:

- a. a bobina de aço é desenrolada a uma velocidade de até 60 metros por minuto e em seguida é perfilada;

- b. a perfilagem é obtida por etapas, devido a passagem da bobina de aço nos pares de cilindros dispostos sequencialmente, indo da chapa plana até o perfil pronto;
- c. o processo de perfilação inicia pela parte central do perfil trapezoidal ou ondulado, para que as partes laterais da chapa, ainda planas, possam se movimentar em direção ao centro, pois há redução da largura no processo.

Segundo informação dos fornecedores, a telha termoacústica, normalmente, é produzida pela fábrica na medida adequada, como um painel composto, pronto e acabado para uso do cliente. A inclinação mínima recomendada pelo fornecedor de telhas termoacústicas é de 8% para coberturas com comprimento de água de no máximo 20 m. Este dado influencia no cálculo da área real de cobertura, consumo de telhas e da câmara de ar.

Vale ressaltar que foram contactados cinco fornecedores, cujos sítios eletrônicos indicavam a produção desse tipo de telha, mas apenas um enviou os dados solicitados. Os demais informaram que não são os produtores, apenas revendedores e outros alegaram que as informações eram confidenciais. A alegação da confidencialidade é questionável e contraditória com o desenvolvimento sustentável almejado pelo mundo atual. A quantidade de matéria-prima consumida, a energia consumida e os gases emitidos devem ser públicos, pois fazem parte de um ciclo de longo prazo da sustentabilidade do planeta.

Também é importante destacar que o questionário de coleta de dados foi simplificado, pois o modelo completo não foi preenchido. A energia de processo de produção da telha é calculada a partir do dado fornecido pelo fabricante. Essas informações demonstram a dificuldade que o pesquisador encontra durante uma pesquisa e que impactam no desenvolvimento do estudo.

Quanto ao desempenho térmico, a ABNT NBR 16373:2015, de telhas e painéis termoacústico estabelece requisitos de desempenho para classificação das telhas e painéis termoacústicos para cada configuração manufaturada e define que a transmitância térmica deve ser calculada conforme definido na ABNT NBR 15.220-2:2005.

B. Telha Cerâmica

A fabricação das telhas cerâmicas no Brasil é regida pelas ABNT NBR 15310:2005 e o esquema de produção está demonstrado no Apêndice C. As telhas cerâmicas produzidas no Brasil possuem diversas tipologias, porém para o caso em estudo, foi adotada a tipo Plan em função do seu largo uso. Para esse tipo de telha, a inclinação indicada é de 20% a 30%, conforme dados coletados na Revista PINI Web de 12/12/2000 e a publicação “Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmicas - Manual de Execução" do IPT 1781. Em função disto, foi adotada a inclinação de 25%.

O processo de fabricação empregado para produção das telhas, em linhas gerais, é composto pelas etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento (ABCERAM, 2015). No caso da cerâmica vermelha, a argila é utilizada como matéria-prima, que passa por um processo de extrusão, corte e prensagem. No caso das telhas, são extrudados bastões ou placas, que a seguir são prensados em moldes com o formato apropriado, dependendo do tipo de telha desejado.

Conforme dados da ABCERAM (2015), o processamento térmico é de fundamental importância para obtenção dos produtos cerâmicos, pois dele depende o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Esse tratamento compreende as etapas de secagem e queima. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50°C e 150°C. Na queima, também conhecida por sinterização, as peças são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800°C a 1700°C.

Os dados sobre densidade, condutividade térmica e calor específico das telhas cerâmicas, respectivamente, estão na norma ABNT NBR 15.220-2:2005:

2.5 DADOS DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

a. Aço

A Energia Incorporada do aço para uma habitação típica do Reino Unido é de 103.000 KWH/m³ (Harris, 1999). O dado do autor refere-se apenas ao material e não a aplicação.

Estudos realizados em Israel apontam para uma Energia Incorporada de 280.000 KWh/m³ (Huberman, 2013), com base em média de publicações.

Gervásio (2008) indica dois dados de Energia Incorporada para a produção do aço: 28,97 MJ/Kg e 9,5 MJ/Kg, para produção em alto forno ou forno de arco elétrico, respectivamente.

Graf e Tavares (2006) ao estudar a energia incorporada de um projeto-padrão de edificação habitacional brasileira adota o dado apresentado no Tabela 2.9. Todavia, cabe esclarecer que neste cálculo não foi considerada a energia usada para o transporte, uma vez que não foi definido um local para a edificação dentro do território brasileiro, assim como mão-de-obra e serviços, se atendo exclusivamente à energia incorporada pela fabricação dos materiais da edificação, a qual é a mesma para todo o território nacional.

Tabela 2.9 – Energia Incorporada de materiais de construção civil (Graf e Tavares, 2006)

Material	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m ³)
Aço – chapa galvanizado	33,80	265.330,00

Grigoletti (2001) efetuou estudo da energia incorporada de diversos materiais, sendo que conteúdo energético do aço no Brasil é 25,6 MJ/Kg (Tabela 2.10):

Tabela 2.10 – Energia Incorporada de aço indicado por Grigoletti (Grigoletti, 2001)

Conteúdo Energético dos materiais de construção em MJ/Kg						
País	Brasil	Austrália	Canadá	Suiça	N. Zelândia	Holanda
Aço	25,6	36,0	25,7	27,7	32,0	60,0

Em estudo realizado por Coelho e Brandão (2013), em uma indústria de produção de estrutura metálica, o consumo de energia para produção de 200 Kg de aço é de 12,8 KWh. Todavia, esses dados representam o consumo energético para fabricação de uma estrutura metálica, logo diferencia-se dos cenários em estudo.

Segundo Nabut (2011), o alumínio e o aço são os dois maiores consumidores energéticos comumente utilizados na construção de edifícios. Esse autor levantou a energia incorporada de diversos autores, conforme exposto na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Energia Incorporada do aço indicada por diversos autores (Nabut, 2011).

Material	Energia Incorporada (MJ/kg)	Fonte
Aço	30,49	Tavares (2006) - Brasil
	32,0	Alcorn (1996) - Nova Zelândia
	32,0	Gonzales et al. (2006) – Espanha
	33,70	Lee (2011) – Holanda
	42,7	Monahan (2010) - Reino Unido

A pesquisa de Tavares (2006) sobre os diversos materiais brasileiros apresenta um valor de energia embutida para o aço laminado CA 50 de 30 MJ/Kg.

Uribe (2013) ao estudar a energia incorporada de vedações para habitação de interesse social considerando o desempenho térmico com utilização do Light Steel Frame no entorno do DF, também adota o valor calculado por Tavares (2006) de 30.49 MJ/Kg, conforme tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Energia Incorporada do aço calculado por Tavares (Nabut, 2011).

AÇO	FONTE	CONVERSÃO	MJ/Kg
Aço bruto-media	BEM, 2005; IBS (2004)	0,62 Tep/t	25,95
Laminação	IBS (2004)	829 Mcal/t	3,5
Mineração	Ribeiro (2003)	0,1 MJ/t	0,12
Transportes	1900 Kg minério, dist 600 Km	0,73 MJ/t/Km	0,92
TOTAL			30,49

Entre os diversos dados descritos acima, utilizou-se o de Graf e Tavares (2006), pois o aço em estudo é adquirido em forma de chapa que é aplicado na perfiladeira para efetuar as ondulações, logo esse dado tem maior aderência com o produto desse estudo.

b. Concreto

Como colocado por Harris (1999), o concreto é um material de alta densidade e baixo valor de energia, mas resulta numa alta proporção do valor da Energia Incorporada. Segundo estudo feito por esse autor no Reino Unido, a energia incorporada do concreto é 800 KWh/m³ (dados apenas do material e não da aplicação). O estudo de Huberman (2013), em Israel, indica uma Energia Incorporada do berço-ao-portão de 2,852 MJ/m³. Graf e Tavares (2006) adotam o valor de 3,10 MJ/Kg de energia incorporada para o concreto armado.

A pesquisa de Tavares (2006) sobre os diversos materiais brasileiros apresenta um valor de energia embutida para o concreto simples de 1,20 MJ/Kg, porém como o modelo de edificação habitacional é com laje de concreto armado é adotado o valor de Graf e Tavares (2006) de 3,10 MJ/Kg.

c. Alumínio

A Energia Incorporada do alumínio para uma casa típica do Reino Unido é de 75.600 KWh/m³ KWh (Harris, 1999). O estudo de Huberman (2013), em Israel, com base na média em diversas publicações, indica uma energia incorporada do berço-ao-portão é de 570,42 MJ/m³. Tavares (2006), ao estudar a energia incorporada para uma habitação padrão brasileira, apresenta os valores de 98,20 MJ/Kg e 210,0 MJ/Kg para alumínio lingote e anodizado, respectivamente.

No estudo de Gouveia (2012) sobre fachadas de Alumínio Composto, onde foi considerada a etapa de produção desses materiais, o valor médio de energia incorporada encontrado foi de 91,18 MJ/Kg. Comparando-se a média dos valores de EI encontrados nessa pesquisa (91,18 MJ/Kg) com o valor de EI apresentado por Tavares (2006) de 98,20 MJ/kg, observa-se uma diferença de 7,15%. Supõe-se que essa variação pode ser consequência da matriz energética considerada e/ou da inclusão dos valores de EI para os transportes. Grigoletti (2001) apresenta valores da Energia Incorporada de alumínio de diversos países (Tabela 2.13):

Tabela 2.13 – Comparativo da energia incorporada de Alumínio em diversos países.
(Grigoletti, 2001)

EI em MJ/Kg	FONTE
236,8	Reddy (2003) – Índia
136,8	Bribian (2010) – Europa
270	Chapman, Roberts (1983) - Inglaterra
98,20	Tavares (2006) – Brasil

Observa-se uma grande disparidade entre o dado brasileiro e os demais países: 141% em relação a Índia, 39% para Europa e 171% para a Inglaterra. Essa variação pode ser provocada por diferenças geográficas, tecnológicas, transporte e recursos humanos que não são objeto de estudo dessa pesquisa.

Grigoletti (2001) ao apresentar a energia incorporada de diversos materiais para diversos países indica um valor de 98,8 MJ/Kg, conforme Tabela 2.14:

Tabela 2.14 – Conteúdo energético dos materiais de construção. (adaptado de Grigoletti, 2001)

Conteúdo Energético dos materiais de construção em MJ/Kg						
País	Brasil	Austrália	Canadá	Suiça	N. Zelândia	Holanda
Alumínio	98,8	201,6	236,3	261,7	166,0	250,0

Dentre os diversos valores encontrados, é utilizado o valor de alumínio anodizado da pesquisa de Tavares (2006), já adotado em vários trabalhos de autores nacionais e baseado em estudo para os materiais de construção brasileiros.

d. Poliestireno Expandido

O estudo de Huberman (2013), em Israel, para construções baixas indica uma energia incorporada do berço-ao-portão de 2,710 MJ/m³, com base em média de publicações.

Segundo estudo de caso realizado por Grote e Silveira (2010), em indústria de fabricação de EPS em Minas Gerais, a densidade dos blocos de EPS produzidos varia 12 kg/m³ a 16 kg/m³; a produção anual de EPS é de aproximadamente 8.000m³ o consumo anual de óleo combustível é de 100.000 litros e o de energia elétrica é de aproximadamente 4.500 kWh/mês, conforme dados coletados pelos autores na própria empresa em 2001.

Estudo realizado por Pargana (2012) para isolamentos térmicos usados nas fachadas de prédios de Portugal apontam 57,57 MJ por 0,55Kg de EPS, ou seja, 104,67 MJ/Kg. Esse levantamento desconsidera a energia primária proveniente da reciclagem.

Tavares (2006) em seu estudo sobre a Energia Embutida de materiais brasileiros indica o valor de 112,00 MJ/Kg, o que representa uma variação de 7% quando comparado aos dados de Pargana (2012). Esse mesmo valor é adotado por Graf e Tavares (2006) no cálculo de energia de uma edificação brasileira, sendo este o dado escolhido para essa pesquisa.

e. Telha Cerâmica

Manfredini (2011) apresenta dados qualitativos e quantitativos relacionados ao consumo de energia em indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul. Foram pesquisadas 40 indústrias, porém apenas os dados de 20 fabricantes de cerâmica vermelha foram considerados válidos, dos quais 18 indústrias produzem tijolos e blocos cerâmicos, uma produz blocos, telhas e cumeeiras e uma produz exclusivamente telhas. O valor da energia consumida em indústrias que fabricam telhas entre seus produtos é de 1,553 kWh/kg. Todavia, na indústria que fabrica exclusivamente telhas, o valor obtido é de 2,703 kWh/kg, bem acima dos valores citados pela bibliografia internacional consultada, que variam de 1,519 kWh/kg a 1,750 kWh/kg.

Tavares (2006) e Graf e Tavares (2006) apresentam o valor de 5,40 MJ/Kg para o material cerâmico para telha no Brasil. Este foi o valor aplicado nos cálculos desse trabalho.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é apresentada a metodologia de pesquisa para obtenção dos dados propostos sobre a Energia Incorporada Inicial (E_I) e Energia Recorrente (E_R) das fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção, e a análise do Desempenho térmico de quatro cenários.

Esses cenários são avaliados para uma edificação habitacional em Brasília, com dois tipos de telhas termoacústicas e a telha cerâmica Plan, considerando edificações com ou sem laje maciça de concreto no forro. É adotado o modelo de uma edificação padrão para faixa de renda de 0 a 3 salários mínimos.

A metodologia para o cálculo da energia total dessa pesquisa é dividida em 5 etapas e para o desempenho térmico são indicadas 2 etapas principais. O cálculo dessa Energia é demonstrado em planilhas a partir da informação dos quantitativos de materiais utilizados, porém ressalta-se que foram considerados apenas os valores referentes à cobertura, visto que os demais insumos e componentes da edificação são fixos em todos os cenários. Os diversos fluxogramas da pesquisa são apresentados nas Figura 3.1 a 3.4.

A forma de coleta de dados, os parâmetros a serem utilizados e os procedimentos para o cálculo das variáveis dependentes estão descritos neste capítulo da pesquisa.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Esta pesquisa adota as seguintes tipologias: abordagem quantitativa; natureza aplicada; objetivos exploratório; são utilizados procedimentos bibliográfico, documental e estudo de caso. A metodologia da pesquisa e os fluxogramas estão apresentados nas Figuras 3.1 a 3.4, a seguir:

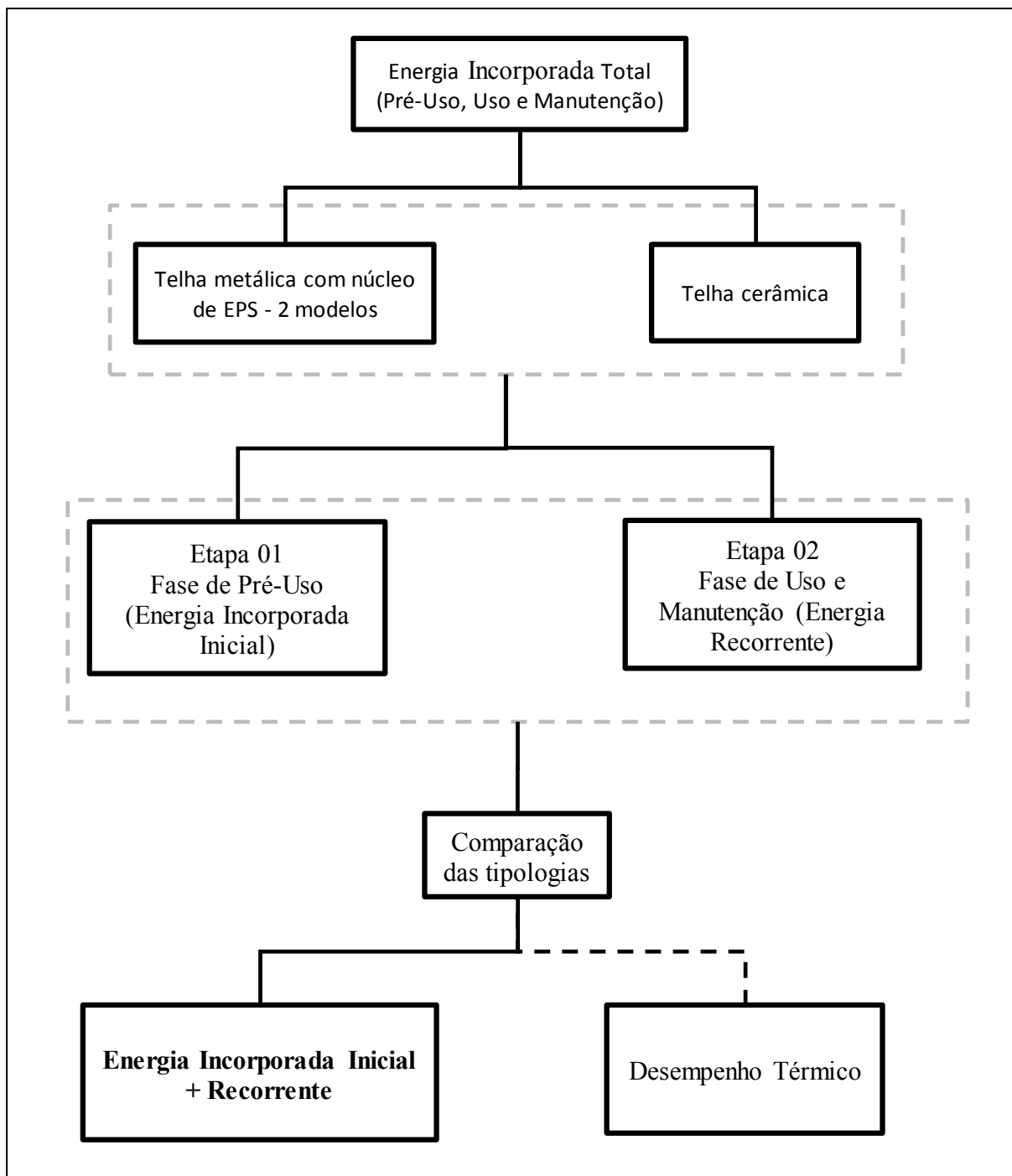


Figura 3.1 – Fluxograma da Metodologia da Pesquisa (Autor)

As variáveis dependentes desse estudo são a Energia Incorporada Inicial e a Energia Recorrente. Os fluxogramas de cálculo da Energia Incorporada Total de Pré-Usado, Uso e Manutenção estão apresentados nas Figuras 3.2 e 3.3 e o fluxo de análise do desempenho térmico está demonstrada no fluxograma da Figura 3.4.

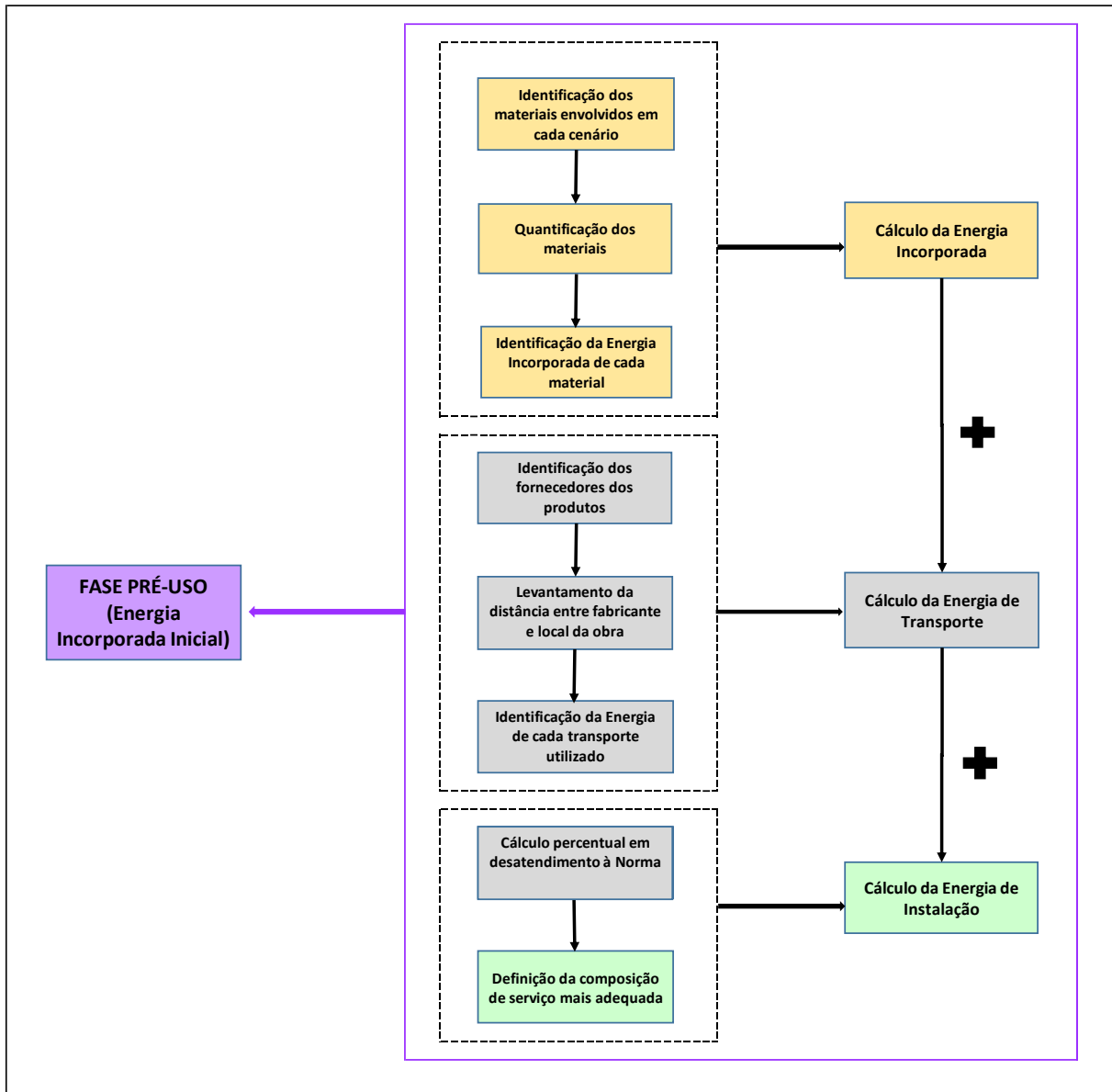


Figura 3.2 - Fluxograma de cálculo da Energia Incorporada de Pré-Uso (Autor)

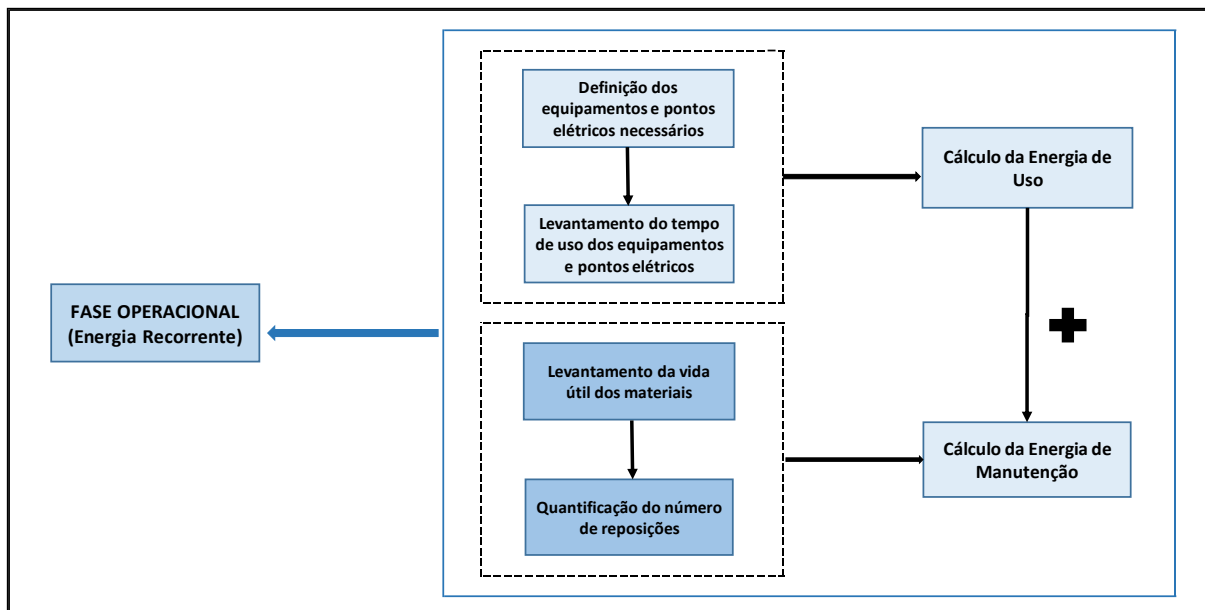


Figura 3.3 - Fluxograma de cálculo da Energia Incorporada de Uso e Manutenção (Autor)

O detalhamento dos cálculos de energia de cada uma das etapas apresentadas na fase de Pré-Uso, Uso e Manutenção, bem como as referências de vida útil e energia incorporada dos insumos estão nas seções 3.4 e 3.6.

Quanto ao desempenho térmico, os procedimentos estão representados no fluxograma da Figura 3.4 e detalhados na seção 3.5.

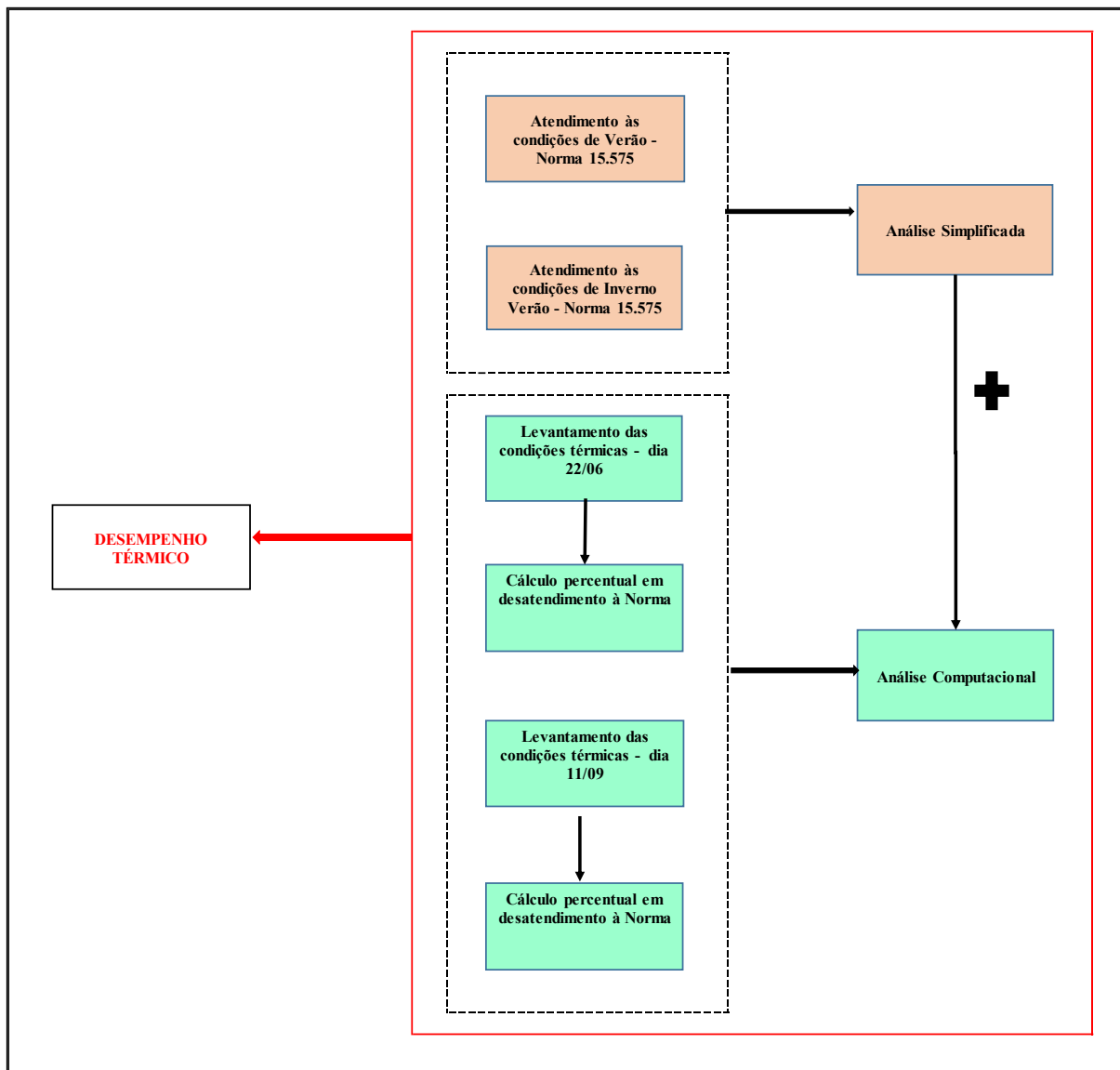


Figura 3.4: Fluxograma de análise do desempenho térmico (Autor)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

3.2.1 Modelo Arquitetônico

Esse estudo adota o projeto utilizado por Pedrosa (2015) em sua pesquisa de doutorado, com as seguintes características:

- Edificação habitacional térrea com área de 45,64 m², composta de uma sala, uma cozinha, dois quartos, um banheiro e uma área de serviço;

- Paredes externas e internas com bloco de concreto com espessura de 9 cm;
- Reboco paulista na parede com argamassa de cimento, areia e cal com 2,5 cm de espessura de cada lado da parede;
- Laje maciça de concreto no forro com 10cm de espessura e reboco de teto com 2 cm de espessura com cal e areia;
- Pé direito de 2,50 metros em atendimento a NBR 15.575:1:2013;
- Contrapiso de 2 cm e piso cerâmico;
- Fundação Radier;
- Vida útil da edificação habitacional: 50 anos.

Este modelo de projeto é adotado por representar adequadamente as edificações destinadas a baixa renda do país, havendo similaridade com os modelos disponibilizados no banco de projetos da CAIXA. Além disso, é objeto de outras pesquisas desenvolvidas pela UnB, possibilitando a criação de um estudo amplo sobre uma amostra e atende a área mínima definida pelo Programa Minha Casa Minha Vida – Recursos FAR. A planta baixa, cortes e fachadas estão no Apêndice D deste documento.

3.2.2 Sistema de Vedação Horizontal da Amostra

Visando comparar adequadamente as telhas termoacústicas com as telhas cerâmicas, são estudados quatro cenários, sendo dois para cada sistema de vedação horizontal:

- a. Cenário 1: telha termoacústica sem laje de forro (TTSF). A telha termoacústica desse cenário é composta de uma camada externa e interna de aço e com interior com

poliestireno expandido (EPS), sendo denominada no texto como telha termoacústica aço/aço;

- b. Cenário 2: telha termoacústica com laje de forro (TTCF). A telha termoacústica desse cenário é composta de uma camada externa de aço, uma camada interna de filme de alumínio e interior com poliestireno expandido, sendo denominada no texto como telha termoacústica aço/filme;
- c. Cenário 3: telha cerâmica tipo Plan sem laje de forro (TCSF);
- d. Cenário 4: telha cerâmica tipo Plan com laje de forro (TCCF).

A partir desses cenários é possível avaliar todos os resultados de forma independente ou conjunta e ainda efetuar as comparações entre situações de similaridade de laje de forro ou de tipologia de telha.

- a. Telhas termoacústicas com núcleo de EPS (aço/aço e aço/filme)

Dentre os diversos tipos de telhas oferecidas, são adotadas duas tipologias conforme exposto anteriormente, sendo uma composta de aço nas duas faces e a outra é composta de aço na parte externa e filme de alumínio na parte interna. O isolamento térmico de EPS de ambas tem espessura de 50 mm e a espessura de revestimento de 0,43 mm. Essas características baseiam-se no vão máximo que a telha pode alcançar, conforme Tabela 3.1.

Dentre os modelos colocados na Tabela 3.1, foram adotados dois tipos de telhas termoacústicas:

- a. Revestimento em aço, na parte externa e interna, com espessura de 0,43 mm e material isolante (EPS) com espessura de 50 mm, denominada no estudo como telha termoacústica aço/aço;
- b. Revestimento em aço na parte externa com espessura de 0,43 mm, filme de alumínio na parte interna, e material isolante (EPS) com espessura de 50 mm, denominada no estudo como telha termoacústica aço/filme.

Tabela 3.1: Características das telhas metálicas com núcleo de EPS. (adaptado do catálogo do fornecedor, 2015)

Nº de Apoios	Espessura Isolante (mm)	Espessura revestimento (mm)	Peso Próprio (Kg/m ²)		Comprimento Máximo (m)		Vão máximo (mm)	
			Aço/Aço	Aço/Filme	Aço/Aço	Aço/Filme	Aço/Aço	Aço/Filme
2 Apoios	30	0,43	9,50	4,80	12	7,5	2500	1800
		0,50						
	50	0,43	10,00	5,10	12	7,5	3250	1800
		0,50						
	100	0,43	11,00	5,70	12	7,5	4500	1800
		0,50						
3 Apoios	30	0,43	9,50	4,80	12	7,5	2750	1800
		0,50						
	50	0,43	10,00	5,10	12	7,5	3500	1800
		0,50						
	100	0,43	11,00	5,70	12	7,5	4500	1800
		0,50						

A inclinação de ambas as tipologias de telhas termoacústicas é 8%, logo as coberturas apresentam os seguintes esquemas construtivos:

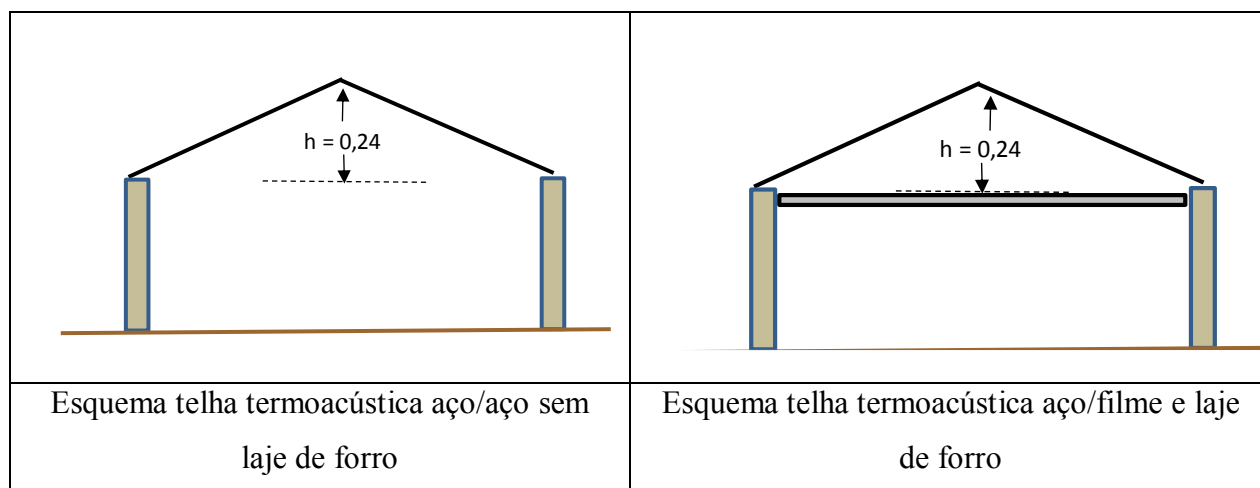


Figura 3.5 – Esquema da cobertura com telhas termoacústicas (Autor)

Os dados quantitativos e qualitativos das telhas termoacústicas são levantados, por grau de prioridade, nas seguintes fontes:

- ✓ Normas Técnicas ABNT NBR 15.310:2005 Emenda 1:2009;

- ✓ Bibliografia;
- ✓ Fornecedores.

b. Telha Cerâmica

A inclinação de coberturas com telha cerâmica tipo Plan adotada é de 25% e os esquemas construtivos desses cenários estão nas Figura 3.6.

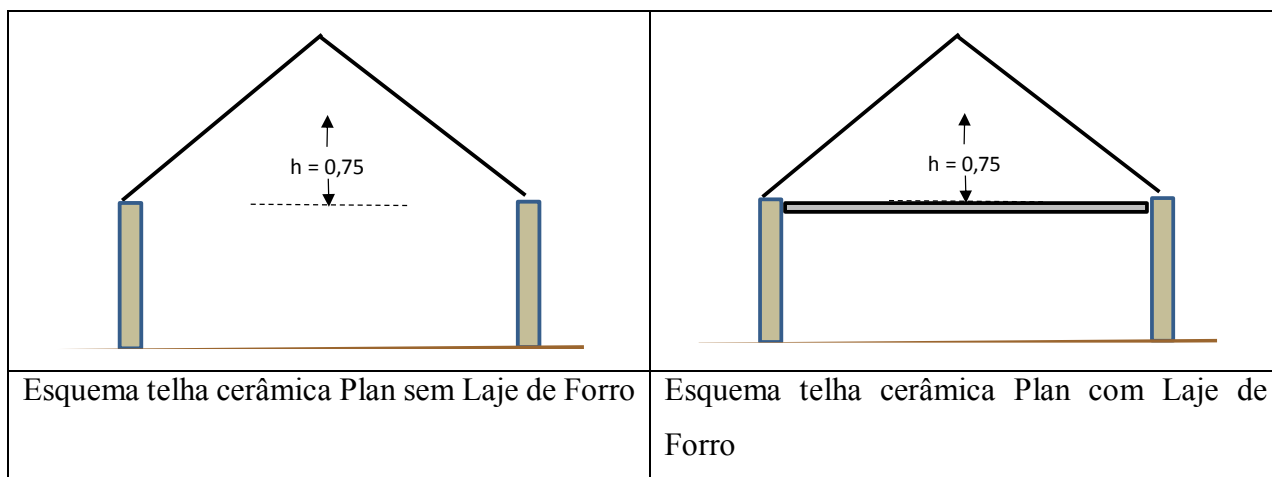


Figura 3.6 – Esquema da cobertura com telhas cerâmica tipo Plan (Autor)

Os dados quantitativos são levantados, por grau de prioridade, nas seguintes fontes:

- ✓ Normas Técnicas ABNT NBR 15.310:2005 Emenda 1:2009;
- ✓ Bibliografia;
- ✓ Associações da indústria de cerâmica.

3.2.3 Limitação Geográfica - Local e Orientação

O local de implantação da edificação habitacional é a Região de São Sebastião, região administrativa de Brasília que dista 23 Km da capital federal. Este local foi escolhido por ser a região com o maior crescimento populacional nos últimos anos, com taxa de 12,23%, segundo levantamento da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan), publicado em 2013. O site do Governo do Distrito Federal registra os seguintes dados evolutivos da população em São Sebastião: 1991 a cidade tinha 17.390 habitantes; em 1998 a população estimada já era de 44.235 moradores; em 2013, 130 mil habitantes. O relatório da Companhia de Planejamento

do Distrito Federal (Codeplan) registra 98 mil habitantes em 2013. Apesar desta divergência, é uma região com o crescimento mais acelerado do Distrito Federal e que tem recebido recentemente diversos empreendimentos habitacionais por meio de financiamentos do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), tais como, o Jardim Mangueiral.

O tipo de domicílio que predomina nesta região é a habitação, que representa 92% das tipologias. Em função destas características, a região de São Sebastião foi adotada para este estudo de caso, porém cabe ressaltar que esta pesquisa atende a qualquer região do Distrito Federal quanto ao desempenho térmico, visto que os parâmetros são estabelecidos para a região de Brasília.

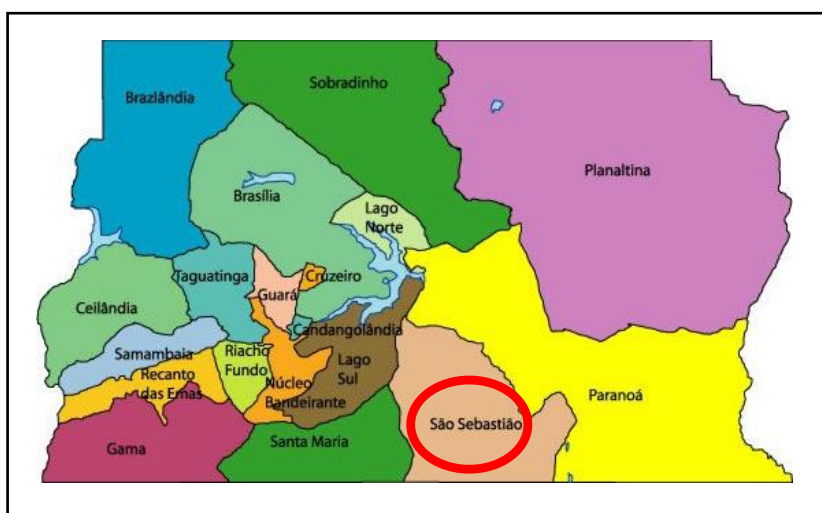


Figura 3.7: Mapa Geográfico de Brasília e a região de São Sebastião. (<http://www.mapas-df.com/regioes.htm> visitado em 20 de maio de 2015)

Como se busca avaliar a eficiência da edificação habitacional na condição mais crítica, é proposta uma orientação solar tal que as aberturas da sala estejam voltadas para o Oeste. Como este ambiente é considerado de permanência prolongada, nesta condição, o Sol da tarde estará sujeito ao efeito mais crítico de insolação. Desta forma, a cozinha estará voltada para o Norte e os dormitórios para o Sul. Ainda visando caracterizar uma situação crítica, é considerado que a edificação habitacional não possui obstáculos que provoquem sombreamento da edificação ou minimizem a condição de vento. Estas premissas foram adotadas com base na ABNT NBR 15.575-1:2013.

3.3 UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema de um produto, que constitui a referência para a qual as entradas e as saídas são relacionadas. Esse parâmetro permite a comparabilidade dos resultados e a ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014) determina que os sistemas sejam comparados utilizando a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, tais como: desempenho, limites do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de afetação, regras de decisão na avaliação de entradas e saídas e análise de impacto.

No caso em estudo, é adotada a unidade funcional de 1m² de cobertura para a comparação entre as telhas termoacústicas com núcleo de EPS (aço/aço e aço/filme) e a cerâmica tipo Plan.

3.4 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados na norma brasileira ou na bibliografia existente ou com os fornecedores. Seguindo ainda o exposto na ABNT NBR ISO 14.040:2009 (versão corrigida 2014), é adotado um critério de significância dos materiais (Tabela 3.2) a serem pesquisados que foi utilizado para selecionar os itens mais representativos para a pesquisa.

Tabela 3.2– Critérios e condições para exclusão de componentes de uma ACV. (Autor)

Critério	Condição
Massa	Se o item representa menos de 1% da massa total do produto, pode ser excluído, pois representa uma relevância menor no sistema.
Energia	Se o item representa menos de 1% da energia total dispendida na fabricação do produto, pode ser excluído, pois representa uma relevância menor no sistema

As fontes dos dados referentes à energia e ao desempenho térmico estão descritas na Tabela 3.3 e nas planilhas de cálculo e tem como fonte, por grau de prioridade, as seguintes fontes:

- ✓ Normas técnicas (quando existente);
- ✓ Bibliografia técnica e documental;
- ✓ Associações ou instituições do setor, tais como, Instituto de Aço Brasil e Associação Brasileira de Construção Metálica;
- ✓ Fornecedores.

Para obtenção dos dados dos fornecedores, foram utilizados os seguintes procedimentos adaptados do *Environmental Protection Development* sobre “*Minnesota demolition survey: phase two report (2004)*”:

- Identificação dos fornecedores com base nos dados existentes nas seguintes instituições: Instituto Aço do Brasil, Associação Brasileira de Construção Metálica, Abrapex e sítios eletrônicos dos fornecedores;
- Envio de mensagem eletrônica explicando o motivo do contato e expondo a necessidade de dados;
- Envio de nova mensagem eletrônica para os fabricantes que não responderam o primeiro contato;
- Consolidação das informações fornecidas.

Além dos procedimentos acima, foram realizados contatos por telefone e pesquisas na *Web*, visto que apenas um fornecedor respondeu o questionário (Apêndice E) sobre a produção de telhas.

Sempre que possível foram utilizados dados de fontes primárias e, quando utilizados dados secundários, essa pesquisa buscou validar a informação pela comparação entre diversas fontes. Contudo, cabe ressaltar que não é responsabilidade do pesquisador aferir a validade destes dados.

Tabela 3.3 – Dados de energia utilizados e fontes. (Autor)

Insumo	Energia incorporada	Unid	Referência dos dados de consumo de Energia
Areia Fina	0,05	MJ/Kg	Tavares (2006)
Areia Grossa	0,05	MJ/Kg	Tavares (2006)
Cal Hidratada	3	MJ/Kg	Tavares (2006)
Chapa de aço	33,8	MJ/Kg	Graf e Tavares (2006)
Chapa de ferro	32,8	MJ/Kg	Tavares (2006)
Cimento Portland	4,2	MJ/Kg	Tavares (2006)
Concreto armado	3,1	MJ/Kg	Graf e Tavares (2006)
Filme de Alumínio	210	MJ/Kg	Tavares (2006)
Madeira Lei Nativa/Regional serrada aparelhada ou Madeira Peroba	3,5	MJ/Kg	Tavares (2006)
Massa PVA	65	MJ/Kg	Tavares (2006)
Poliestireno Expandido	112	MJ/Kg	Tavares (2006)
Prego polido com cabeça 18 X 27	31	MJ/Kg	Tavares (2006)
Telha cerâmica	5,4	MJ/Kg	Tavares (2006)
Tinta PVA	65	MJ/Kg	Tavares (2006)
Transportes materiais diversos	0,48	MJ/t.Km	Pedroso, 2015
Ajudante de telhadista	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Telhadista	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Carpinteiro de formas com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Armador com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Pedreiro com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Ajudante de pedreiro com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015
Pintor com encargos complementares	1,64	MJ/m ² .h	Pedroso, 2015

O levantamento da vida útil dos materiais está apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Vida Útil dos componentes (Autor)

Insumo	Vida Útil (anos)	Referência dos dados de vida útil
Telhas termoacústicas	38,00	Fornecedor
Telhas cerâmicas	20,00	Relatório Anicer
Pintura	4,00	NBR 15.575-1

3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

A avaliação do desempenho térmico é realizada conforme definido na ABNT NBR 15.575:2013:

- Procedimento 1 – simplificado (normativo): é calculada a transmitância térmica (U) e verificada a conformidade com os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 15575-5:2013.
- Procedimento 2 - simulação de dados computacional dos sistemas de cobertura em estudo utilizando o *software DesignBuilder*. São verificadas as temperaturas para os dias típicos de verão e inverno e o atendimento à ABNT NBR 15.575-1:2013.

3.5.1 Análise Simplificada de Desempenho térmico

Conforme descrito no item 2.4.3, os materiais serão analisados com base na ABNT NBR 15.575-5:2013 e os cálculos realizados conforme ABNT NBR 15.220-2:2005 (versão corrigida 2008), conforme sequência apresentada abaixo:

- a. verificação da condição de ventilação de ar, conforme definido na ABNT NBR 15.220:2005;
- b. cálculo da Resistência Térmica, calculada pela expressão de componentes de camadas homogêneas:

$$(Eq. 3.1) \quad R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{am} \quad (m^2.K)/W$$

Onde:

R_t - Resistência Térmica das n camadas homogêneas;

R_{ar} - Resistência Térmica das n câmaras de ar, obtidas na tabela B.1.

c. cálculo da Resistência Térmica do ambiente pela Eq. 3.2 (Verão) ou 3.3 (Inverno):

$$(Eq. 3.2) \quad RT = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (m^2.K)/W$$

$$(Eq. 3.3) \quad RT = 2R_{si} + R_t \quad (m^2.K)/W$$

Onde:

R_{se} é a resistência superficial externa

R_{si} é a resistência superficial interna.

d. cálculo da Transmitância Térmica:

$$(Eq. 3.4) \quad U = 1/RT \quad W/(m^2.K)$$

Sendo

RT – Resistência Térmica

e. verificação de atendimento às condições estabelecidas pela ABNT NBR 15.575:2013 para a zona bioclimática 4; e

f. análise computacional pelo software *DesignBuilder*, conforme ABNT NBR 15.575:2013.

Para materiais como poliestireno expandido, argamassa comum e concreto, são adotadas as densidades médias da massa aparente, pois a Tabela B.3 da NBR 15.220:2005 apresenta uma faixa de valor.

3.5.2 Análise por Simulação Computacional

O cálculo e avaliação do desempenho térmico em edificações pode ser realizado por meio de diversos *softwares* existentes no mercado, mas optou-se pelo *DesignBuilder*, pois fornece ferramentas avançadas de modelagem que permitem calcular o desempenho de uma edificação, quanto à eficiência energética e desempenho térmico. Além disto, possui interface com o *Energy Plus* que é o *software* indicado pela norma brasileira.

Para a geometria do modelo de simulação, deve ser considerada a edificação habitacional como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Os materiais de construção e suas respectivas dimensões, usados nessa simulação, estão descritos no modelo arquitetônico. As propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos foram extraídos da ABNT NBR 15.220:2003. O roteiro de utilização do *software* está descrito no Apêndice G.

As propriedades térmicas dos materiais utilizados no cenário para a avaliação de desempenho térmico estão na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Propriedades térmicas dos materiais constantes nos cenários (Autor)

Material	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (KJ/(Kg.K))	Massa Aparente (Kg/m3)
Argamassa comum	1,15	1,00	1950,00
Telha Plan	0,90	0,92	1500,00
Concreto normal (laje e contrapiso)	1,75	1,00	2300,00
Bloco de concreto	0,51	1,00	1400,00
Aço	55,00	0,46	7800,00
Poliestireno Expandido	0,04	1,42	25,00

3.6 CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA INICIAL

3.6.1 Cálculo da Energia Incorporada Inicial (Fase de Pré-Uso)

A Energia Incorporada Inicial da fase de Pré-Uso é calculada como o somatório dos diversos gastos energéticos da etapa de fabricação, transporte e instalação do produto, logo pode ser expressa pela equação 3.5:

$$(Eq. 3.5) \quad EI_i = EI + ET + EE_x \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Sendo:

EI_i = Energia Incorporada Inicial

EI = Energia Incorporada ou Embutida

ET = Energia de Transporte

EE_x = Energia de Execução

A partir dos cálculos das energias incorporada, de transporte e de execução são apresentados os valores da energia incorporada inicial na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Planilha de cálculo da energia incorporada inicial de cada cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m ²) (A)	ENERGIA TRANSPORTE (MJ/m ²) (B)	ENERGIA EXECUÇÃO (MJ/m ²) (C)	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m ²) (A=B+C)
Cenário I - TTFS				
Cenário II - TTCF				
Cenário III - TCSF				
Cenário IV - TCCF				

3.6.1.1 Energia Incorporada

No cálculo dessa energia é considerada a fabricação dos insumos necessários para cada serviço a ser executado nos quatro tipos de cenário, conforme Tabela 3.7. Identificados os serviços, a

energia é calculada pela Eq. 3.6, que relaciona massa de cada componente com a respectiva energia.

$$(Eq. 3.6) \quad EI = \sum [(Quantidade\ de\ material) * EI_m] \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Onde:

EI = Energia Incorporada

EI_m = Energia Incorporada do Material

A Energia Incorporada é levantada na bibliografia existente com prioridade para dados nacionais, visto que representam adequadamente a realidade do Brasil. No caso das telhas termoacústicas com núcleo de EPS, o cálculo é realizado pela decomposição dos elementos constitutivos (aço, filme de alumínio e EPS), pois não foram encontrados dados na bibliografia sobre a energia de fabricação da telha. Logo, para este cálculo é necessário levantar a energia incorporada de cada componente e somar todos os gastos energéticos. Os quantitativos da telha termoacústica são levantados com o fabricante dentro da fronteira do trabalho (Apêndice E).

As pesquisas e os valores de referência da energia incorporada dos principais materiais utilizados estão descritos a seguir e a fonte dos demais insumos estão citados nas tabelas dos Apêndices H a L.

A partir da seleção dos valores de energia dos insumos, são realizados os cálculos da energia incorporada, apresentados na Tabela 3.8.

O fator de multiplicação foi adotado para o caso da telha termoacústica com base nos dados fornecidos pelo fabricante. Para os demais casos, não são consideradas as perdas, visto que são computadas nas composições referenciais utilizadas.

Tabela 3.7 – Lista de serviços a executar em cada cenário na fase de Pré-Useo (Autor)

TTSF	Serviços necessários:
	1. Telha Termoacústica com EPS aço/aço
	2. Estrutura de madeira
TTCF	Serviços necessários:
	1. Telha Termoacústica com EPS aço/filme
	2. Estrutura de madeira
	3. Laje de concreto
	4. Revestimento: Chapisco + Reboco
5. Acabamento em pintura: emassamento + tinta	
TCSF	Serviços necessários:
	1. Telha cerâmica Plan
	2. Estrutura de madeira
TCCF	Serviços necessários:
	1. Telha Plan
	2. Estrutura de madeira
	3. Laje de concreto
	4. Revestimento: Chapisco + Reboco
5. Acabamento em pintura: emassamento + tinta	

Tabela 3.8 – Planilha de cálculo da energia incorporada (Autor)

MATERIAL	QUANT/M2	UNID	DENSID (Kg/m3)	QUANT (Kg/m2)	FATOR DE PERDAS	QUANT (Kg/m2) C/ PERDAS	EIm (MJ/Kg)	EI (MJ/m2)	REFERÊNCIA DOS DADOS
Insumos									
Total - Cenário									

3.6.1.2 Energia de Transporte

A Energia de Transporte é aquela gasta para transportar os materiais do local de produção até o local de instalação. Essa energia depende da distância entre o ponto de fabricação e o local de instalação e do modal de transporte, logo pode ser expressa pela seguinte equação 3.7:

(Eq. 3.7)

$$ET = d * E_{ct}$$

$$\left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Onde:

d = Distância de transporte

E_{ct} = Energia consumida no transporte.

Como apontado por Grigoletti (2001), para a etapa de transporte, os dados internacionais não são representativos para o Brasil, pois tanto as tecnologias produtivas de materiais quanto as distâncias são muito diferentes. Por isto, optou-se por adotar os dados de estudos realizados de pesquisadores brasileiros.

Tavares (2006) apresenta para os materiais de construção brasileiros a energia de transporte para diversos meios (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 – Comparativo da energia incorporada de diversos meios de transporte - (Tavares, 2006)

MEIO DE TRANSPORTE	MJ/Km/t
Navio de carga em hidrovias	0,93
Navio de carga oceânico	0,13
Van de entrega (< 3,5t)	11,10
Caminhão, 16 t	5,17
Caminhão, 28 t	3,56
Caminhão, 40 t	2,54
Carro de passeio	5,15
Trem de carga	1,50

No entanto, esse autor alerta que excetuando cimento, cerâmica vermelha, aço e cerâmica de revestimento, para os demais materiais normalmente utilizados em construções habitacionais brasileiras, procurou-se consolidar os dados nacionais disponíveis em levantamentos anteriores que foram complementados por uma média de dados internacionais.

Em função da falta de um inventário padrão brasileiro e a consequente deficiência de dados nacionais, a autora da pesquisa adota valores de Pedroso (2015), pois esse autor teve como objeto de estudo, o mesmo tipo de edificação habitacional e na mesma localidade ou dados

provenientes de pesquisas com as devidas explicações nos memoriais. No caso da telha termoacústica, é considerada a distância de transporte dentro da fronteira estabelecida para a pesquisa.

Os cálculos da Energia Incorporada de Transporte são apresentados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Planilha de cálculo da Energia Incorporada Transporte (Autor)

MATERIAL	DIST. TRANSP (A)	UNID	CIDADE ORIGEM	Ect (MJ/t.km) (B)	PESO PEÇA (kg)	QUANT/m ²	PESO PEÇA (t)/m ² (C)	ET (MJ/m ²) (AxBxC)	REFERÊNCIA DOS DADOS

As distâncias de transporte foram retiradas da tese de Pedroso (2015), cuja edificação situa-se no mesmo local da pesquisa atual ou, em casos específicos citados no anexo, extraídas do *Google Maps*.

3.6.1.3 Energia de Execução

A energia de execução é aquela gasta durante a aplicação dos insumos na obra. Para calcular a energia dos serviços apresentados na Tabela 3.7, referentes a cada cenário estudado, é necessário identificar qual a composição que melhor representa essa instalação.

Foram adotadas as composições existentes na literatura com prioridade para o SINAPI (2015) e, na ausência dessa, as composições da TCPO 14-PINI (2012), conforme Tabela 3.11. O detalhamento destas composições é apresentado no Apêndice F:

Tabela 3.11 – Composições usadas no cálculo da energia de execução

Serviço	Fonte	Identificação da composição
Lançamento de concreto	SINAPI (2015)	74157/3
Armação	SINAPI (2015)	73990/1
Chapisco	SINAPI (2015)	74199/1
Reboco	SINAPI (2015)	75.481
Emassamento	SINAPI (2015)	88496
Pintura	SINAPI (2015)	88486
Estrutura de madeira (para cobertura em telha cerâmica)	SINAPI (2015)	73931/3
Estrutura de madeira (para cobertura em telha termoacústica)	PINI (2012)	09.005.00011_SER
Telha Cerâmica	SINAPI (2015)	73938/2
Telhas Termoacústicas	PINI (2012)	TCPO 09.005.000011.SER

A energia de execução é calculada por meio da equação 3.8 e os resultados são apresentados na Tabela 3.12.

$$(Eq. 3.8) \quad EE_x = \sum [C_i * EI_{ins}] \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Onde:

EE_x = Energia Incorporada de Instalação

C_i = Consumo do insumo especificado na composição

EI_{ins} = Energia Incorporada do Insumo

Tabela 3.12 - Planilha de cálculo da Energia Incorporada de Instalação (Autor)

INSUMO	UNID	CONSUMO (Unid./m ²) (A)	ENERGIA EMBTUDA (MJ/Unid) (B)	ENERGIA EXECUÇÃO (MJ/m ²)	REFERÊNCIA DOS DADOS
TOTAL					

3.6.2 Cálculo da Energia Recorrente

A Energia Incorporada Recorrente (ou Operacional) é o somatório da energia gasta na fase uso e manutenção, conforme Eq. 3.9.

$$(Eq. 3.9) \quad ER = EU + EM \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Sendo:

ER = Energia Incorporada Recorrente (ER) ou Operacional

EU = Energia Incorporada de Uso

EM = Energia Incorporada de Manutenção

O resultado é apresentado na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Planilha de cálculo da Energia Incorporada Operacional ou Recorrente (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE USO (MJ/m ²) (A)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m ²) (B)	ENERGIA RECORRENTE (MJ/m ²) (A+B)
Cenário I - TTSF			
Cenário II - TTCF			
Cenário III - TCSF			
Cenário IV - TCCF			

3.6.2.1 Energia de Uso

São utilizados os dados do IBGE (2010) quanto aos equipamentos usuais nas habitações brasileiras similares ao da pesquisa, conforme exposto no item 3.5, bem como o tempo de uso

mensal de cada eletrodoméstico. O levantamento dos eletrodomésticos mais utilizados na faixa de renda em estudo foram extraídos do relatório do IBGE/2012. Os percentuais de incidência nos domicílios são apresentados no Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Equipamentos/ habitação de baixa renda (adaptado do Relatório do IBGE, 2012)

Grandes Regiões, Unidades da Federação e Regiões Metropolitanas	Domicílios particulares permanentes urbanos					
	Proporção, por acesso a alguns serviços (%)		Proporção, por posse de alguns bens duráveis (%)			
	Ilumi- nação elétrica	Tele- fone fixo	Compu- tador	Gela- deira	TV em cores	Máqui- na de lavar
Brasil	99,8	50,6	35,4	95,2	96,8	46,4

Alguns esclarecimentos são necessários:

- O Freezer, constante na tabela original do IBGE, foi desconsiderado, pois apresenta percentual de 15,6%. Soma-se a isto, a comercialização atual de geladeiras com maior espaço de congelamento, o que tem diminuído a necessidade de dois equipamentos;
- A Internet, constante na tabela original do IBGE, foi desconsiderada, pois apresenta percentual de 27,5% e não representa um eletrodoméstico. Ao contrário, é serviço vinculado à rede de telefonia e à existência de computadores;
- O computador, apesar de apresentar uma incidência abaixo de 50%, foi considerada em função da sua inegável relevância como meio de comunicação atual e a forte expansão do consumo deste equipamento.

Baseado nas pesquisas citadas e na lista de eletrodomésticos usuais publicada pelo Eletrobras, as características dos eletrodomésticos e equipamentos adotados nessa pesquisa estão descritas no Tabela 3.15. Além dos equipamentos apontados pelo IBGE, foram inseridos também aqueles usuais numa edificação habitacional, tais como: fogão e chuveiro.

Tabela 3.15 – Características dos equipamentos e eletrodomésticos (Autor)

EQUIPAMENTO/ELETRODOMÉSTICO	CARACTERÍSTICAS
Chuveiro	3.500 W
Computador	180 W
Ferro de Passar	1000 W
Fogão	60 W
Geladeira	90 W
Lâmpadas	15 W – Fluorescentes
Liquidificador	300 W
Máquina de Lavar	500 W
TV	200 W

Os aparelhos de condicionamento de ar, tipo *Split*, são previstos para os períodos de desconfortos térmicos, determinados pelo software *DesignBuilder*. Esse aparelho é considerado para destacar a diferença energética entre os diversos cenários. Os cálculos da energia operacional foram realizados conforme Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Planilha de cálculo da energia Operacional (Autor)

EQUIPAMENTO	UNID	QUANTID	CONSUMO MENSAL (KWh)	CONSUMO ANUAL (Kwh)
TOTAL				

O valor do cálculo manual foi comparado com os resultados obtidos com o software *DesignBuilder*. Este *software* também calcula o consumo energético e é utilizado para o levantamento da Energia de Uso das telhas termoacústicas com núcleo de EPS e de Cerâmica. Este *software* apresenta as seguintes vantagens:

- É uma ferramenta integrada ao *Energy Plus*, referenciado na Norma Brasileira de Desempenho ABNT NBR 15.575:2013;

- Possibilita modelar e simular o desempenho de uma dada edificação habitacional, pois os dados de entrada podem ser ajustados ao caso em estudo (dados do site do *DesignBuilder*, acessado em maio de 2015);
- É o *software* utilizado pelo Procel Edifica e laboratórios credenciados no Brasil (Maciel, 2013).

Observa-se que como os valores são calculados em KWh é necessário convertê-los para MJ para se somar às demais energias calculadas.

3.6.2.2 *Energia de Manutenção*

A Energia de Manutenção é calculada em função da vida útil da edificação habitacional (50 anos) e da vida útil dos componentes e de cada sistema de vedação horizontal. Dessa forma é possível identificar quais os serviços necessitam de reposição (ver Tabela 3.17). Os dados divulgados nos sítios eletrônicos dos fornecedores de telha termoacústica com núcleo de EPS indicam uma vida útil média de 38 anos e a ABCEM indica uma vida útil da telha cerâmica de 20 anos. Logo, é considerada uma troca total das telhas da cobertura de telhas termoacústicas com núcleo de EPS e duas trocas para o caso da telha cerâmica. Nessa fase são consideradas também a energia de transporte e a energia de execução, relativos à reposição de material.

$$(Eq. 3.10) \quad EM = EI + ET + EE_x \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Sendo:

EM – Energia de Manutenção

EI – Energia Incorporada

ET - Energia de Transporte

EE_x – Energia de Execução

Os dados de referência utilizados para o cálculo da ET e EEx são os mesmos levantados para a fase de Pré-Uso, porém considerando a vida útil de cada componente ou sistema, o que define a sua quantidade de reposição. Os serviços necessários estão listados na Tabela 3.17 e os cálculos são apresentados na Tabela 3.18.

A vida útil dos materiais foi levantada nas normas técnicas ou em dados fornecidos pelos fabricantes, quando não constantes nas publicações da ABNT.

Tabela 3.17 – Lista de serviços de manutenção necessários na fase de Uso (Autor)

TTSF	Serviços necessários:
	1. Telha Termoacústica com EPS aço/aço
TTCF	Serviços necessários:
	1. Telha Termoacústica com EPS aço/filme
	2. Acabamento em pintura: emassamento + tinta
TCSF	Serviços necessários:
	1. Telha cerâmica Plan
TCCF	Serviços necessários:
	1. Telha Plan
	2. Acabamento em pintura: emassamento + tinta

Tabela 3.18 - Planilha de cálculo da energia de manutenção de cada material (Autor)

CENÁRIO	MATERIAL			
	VIDA ÚTIL DO MATERIAL	QUANT. REPOSIÇÕES DURANTE VU EDIFICAÇÃO	ENERGIA INCORPORADA DA UNITÁRIA (MJ/m²) (A)	ENERGIA INCORPORADA DURANTE VU DA EDIFICAÇÃO (MJ/m²)
Cenário I - TTSF				
Cenário II - TTCF				
Cenário III - TCSF				
Cenário IV - TCCF				

A energia total de manutenção é dado pelo somatório dos gastos energéticos dos diversos materiais, cuja reposição será necessária, conforme modelo da Tabela 3.19.

Tabela 3.19 - Planilha de cálculo da energia de manutenção de cada cenário (Autor)

CENÁRIO	MATERIAL 1 (A)	MATERIAL 2 (B)	MATERIAL ... (n)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m²) (A+B+...+n)
Cenário I - TTST				
Cenário II - TTCT				
Cenário III - TTCT				
Cenário IV - TTCT				

3.7 CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA TOTAL (PRÉ-USO, USO E MANUTENÇÃO)

A Energia Incorporada Total EIT (Pré-Uso, Uso e Manutenção) é o resultado do somatório entre a Energia Incorporada Inicial e a Energia de Uso e Manutenção, conforme apresentado na equação 3.11 e na Tabela 3.20.

$$(Eq. 3.11) \quad EIT = EI_i + ER \quad \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

Sendo:

EIT – Energia Incorporada Total (Pré-Uso, Uso e Manutenção)

EI_i – Energia Incorporada Inicial

ER – Energia Recorrente

Tabela 3.20 – Energia incorporada total das fases de Pré-Usó, Usó e Manutenção (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m ²) (A)	ENERGIA OPERACIONAL OU RECORRENTE		ENERGIA TOTAL PRÉ-USO E RECORRENTE (MJ/m ²) (A+B+C)
		ENERGIA DE USO (MJ/m ²) (B)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m ²) (C)	
Cenário I - TTST				
Cenário II - TTCT				
Cenário III - TCTST				
Cenário IV - TCTCT				

3.8 CÁLCULO DA ENERGIA PRIMÁRIA

O Balanço Energético Nacional demonstra que algumas perdas ocorrem entre a produção primária e o uso efetivo (ver Figura 3.8).

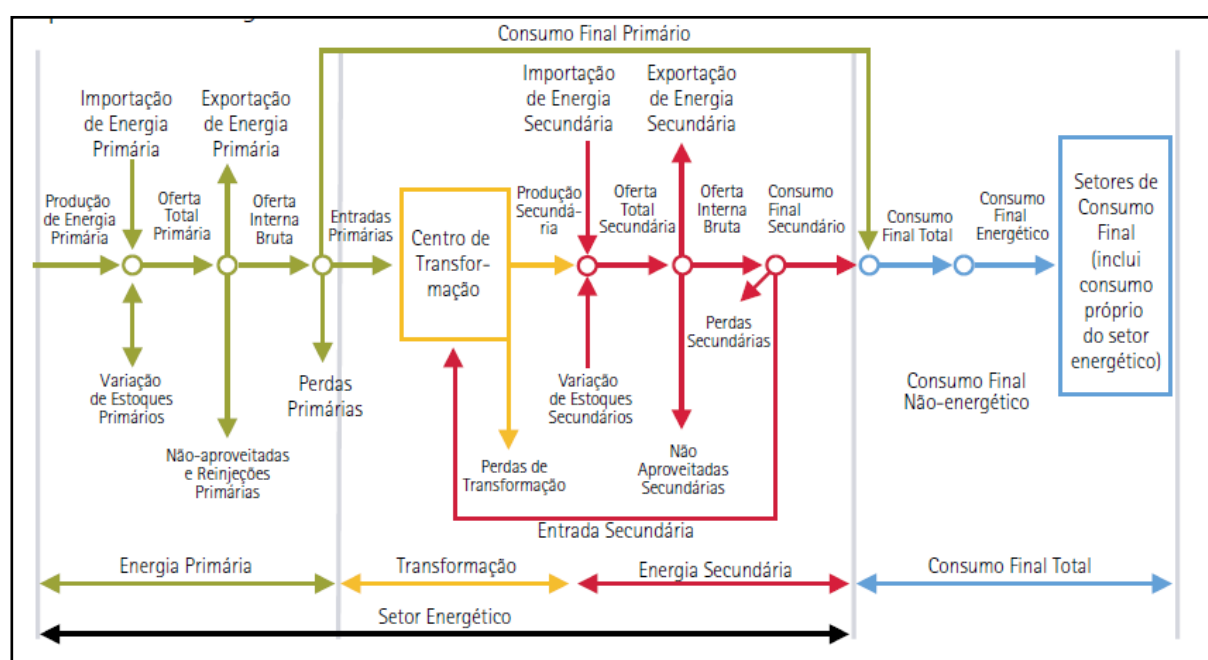


Figura 3.8 – Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional (BEN 2015)

O IEA (2015) define a energia primária como aquela energia bruta gerada na usina. Todavia, ao se usar um dado equipamento, essa energia consumida envolve diversas perdas, sendo denominada de energia secundária. Em função disto, é necessária a conversão da energia de uso final para energia primária aplicando o fator de correção (FC). Como a energia calculada nos cenários em estudo utilizam energia primária e secundária, é necessário que se faça a conversão aplicando um fator de correção:

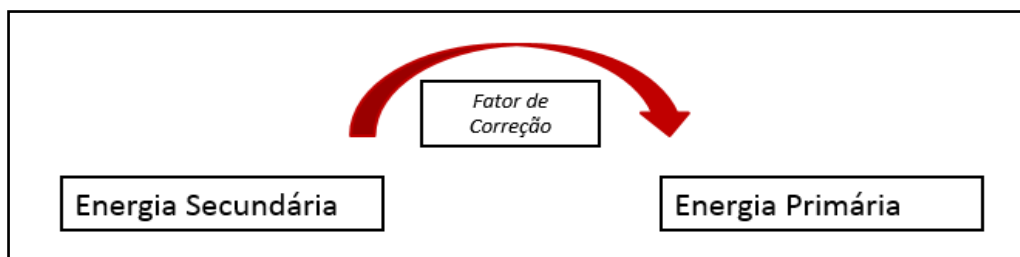


Figura 3.9: Correção de Energia Secundária em Primária. (Autor)

O fator de correção pode ser calculado com os dados anuais, porém optou-se pela média de diversas referências bibliográficas para se ter uma melhor representação da série histórica. A média foi escolhida para esse cálculo visto que os dados coletados apresentaram uma distribuição normal e um desvio-padrão inferior a 5%. Aplica-se o fator de correção nos itens que utilizam energia secundária e soma-se àqueles com energia primária ^[1]. Os resultados de conversão da energia recorrente são apresentados na Tabela 3.21 e da energia incorporada total na Tabela 3.22.

¹ A bibliografia não deixa claro que a Energia Incorporada Inicial é energia primária ou secundária.

Tabela 3.21 – Cálculo da energia recorrente em energia primária (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA OPERACIONAL OU RECORRENTE			
	EU (MJ/m ²) Secundária (A)	EU (MJ/m ²) Primária (B x FC) (B)	EM (MJ/m ²) (C)	ER (MJ/m ²) (A+B+C)
Cenário I - TTSF				
Cenário II - TTCF				
Cenário III - TCSF				
Cenário IV - TCCF				

Tabela 3.22 – Cálculo da energia incorporada total em energia primária (Autor)

CENÁRIO	E _{li} (MJ/m ²) (A)	ER (MJ/m ²) (B)	EIT PRIMÁRIA (MJ/m ²) (A+B)
Cenário I - TTSF			
Cenário II - TTCF			
Cenário III - TCSF			
Cenário IV - TCCF			

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado inicialmente o Desempenho térmico das telhas como dado de entrada para as discussões subsequentes. Posteriormente, são apresentados os resultados da Energia Incorporada Total (EIT) das fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção para cada cenário.

4.1 DESEMPENHO TÉRMICO

4.1.1 Avaliação pelo Procedimento Simplificado

A memória de cálculo do Desempenho térmico pelo procedimento simplificado está no Apêndice A e os resultados estão na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Atendimento às condições de Desempenho térmico – Análise Simplificada.

(Autor)

CENÁRIO	CONDIÇÃO DE VERÃO	CONDIÇÃO DE INVERNO
Cenário I - TTSF	Atende	Não Atende
Cenário II - TTCF	Atende	Não Atende
Cenário III - TCSF	Não Atende	Não Atende
Cenário IV - TCCF	Não Atende	Não Atende

Considerando ainda a Tabela 1.4 do Apêndice I da ABNT NBR 15.575-5:2013, pode-se afirmar que as telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme), na condição de verão, possuem um nível de desempenho superior a telha cerâmica, pois $U \leq 1,0 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. Esse resultado é ocasionado pela camada de poliestireno expandido, visto que esse material consiste em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno, característica que dificulta a troca de calor com o meio. A telha

cerâmica, por sua vez, não atende o padrão estabelecido pela norma para a condição de verão, porém o valor fica próximo ao parâmetro padronizado.

Considerando-se a condição de Inverno, os diversos tipos de telhas estudadas não apresentam bons resultados. As telhas termoacústicas em condição de fluxo descendente, no inverno, apresentam valores próximos ao de referência da norma, porém fora do padrão estabelecido. A telha cerâmica não atende a nenhuma condição de inverno.

4.1.2 Avaliação pela Simulação Computacional

Os gráficos apresentados no Apêndice M demonstram que todos os cenários atendem as condições da norma para o dia mais frio e mais quente do ano, respectivamente, 22/06 e 11/09 (ver Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Atendimento às Condições da ABNT NBR 15.575-5:2013 – Cenários (Autor)

CONDIÇÕES DA NBR 15.575-1	CENÁRIOS			
	TTSF	TTCF	TCSF	TCCF
Condição de Verão	Atende	Atende	Atende	Atende
Condição de Inverno	Atende	Atende	Atende	Atende

Essa informação complementa a análise simplificada, pois, como preconiza a norma, nos casos em que os resultados dessa primeira avaliação não são favoráveis, é possível efetuar uma verificação complementar por sistema computacional.

4.2 FASE DE PRÉ-USO

4.2.1 Energia Incorporada

A Energia Incorporada de cada cenário, calculada com base na equação 3.2, está apresentada nas tabelas do Apêndice H e os resultados consolidados na Tabela 4.3 e no Figura 4.1.

Tabela 4.3 – Energia Incorporada (EI) dos cenários (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m²)
Cenário I - TTSTF	830,43
Cenário II - TTCTF	1.584,35
Cenário III - TCTSF	380,96
Cenário IV - TCCF	1.247,43

Os resultados dos cenários demonstram que o cenário TCTSF possui a menor Energia Incorporada, provavelmente em função da baixa energia embutida desse sistema. A telha cerâmica é, usualmente, fabricada em fornos à lenha enquanto a telha termoacústica é industrializada e possui maior energia incorporada no material.

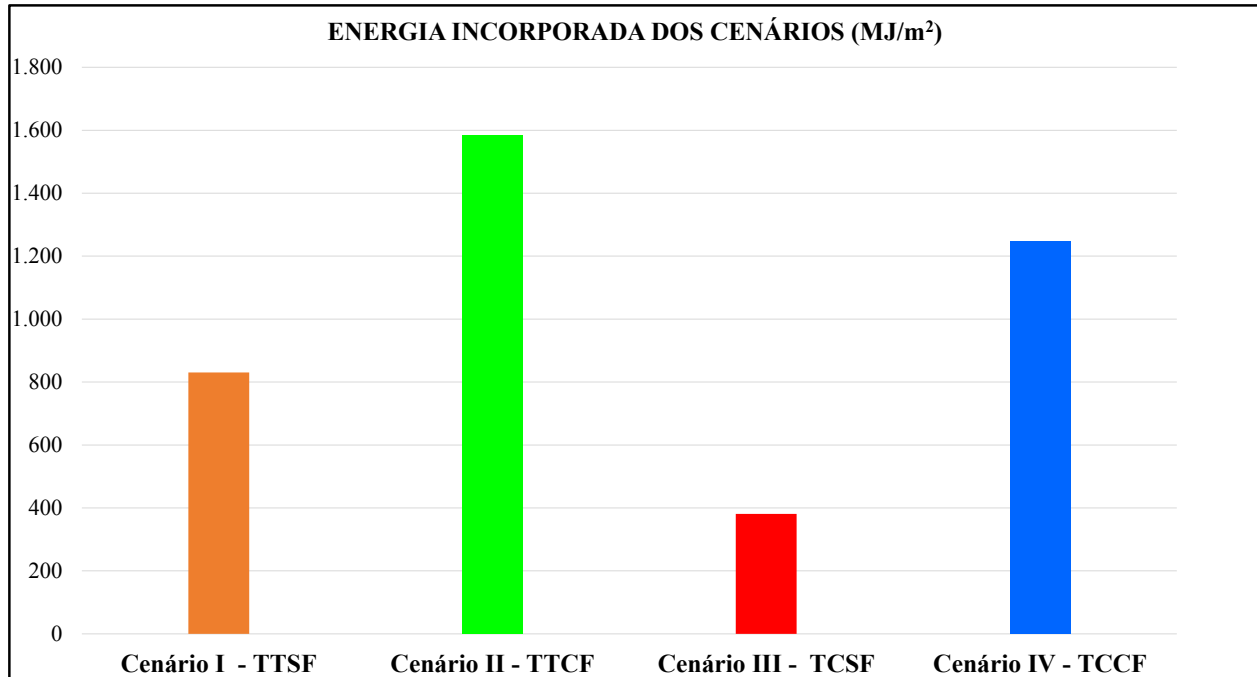


Figura 4.1 – Energia Incorporada dos Cenários (Autor)

O cenário TTSF apresenta o segundo melhor resultado do grupo, o que se explica, principalmente, pela ausência da laje de forro. Nos cenários com laje de forro, a energia incorporada aumenta significativamente em função da massa de concreto, visto que esse material não apresenta alta energia incorporada (3,10 MJ/Kg) quando comparado ao aço ou EPS que possuem energia incorporada de 33,8 e 112 MJ/Kg, respectivamente. Todavia, o concreto possui alta densidade (2.500 Kg/m³) o que resulta numa alta energia incorporada por m² no caso em estudo. Nos cenários com laje, também são computados os gastos energéticos com a pintura que, segundo Haynes (2010), é responsável pelo alto valor de energia nas edificações.

Os gastos energéticos para fabricação apenas das telhas termoacústicas em estudo são: 748,40 MJ/m² (aço/aço) e 635,88 MJ/m² (aço/filme). Comparando esse dado com o EPD de Ruukki (2012) para painéis de EPS, cujo valor de energia incorporada é de 422 MJ/m², observa-se uma variação de 77% em relação a telha termoacústica aço/aço e 51% em relação ao tipo aço/filme. No entanto, é importante destacar que o painel fabricado por Ruukki (2012) tem maior similaridade de produção com a telha aço/aço em função do uso de mesmo material de acabamento em ambas as faces. Essa alta variação entre os dois valores pode ser explicada por duas hipóteses: alto consumo

energético na produção da telha termoacústica no Brasil, o que implica na necessidade de revisão do processo de fabricação; ou insuficiência de dados, visto que essa energia foi calculada com base nos dados de um único fabricante.

Considerando como referência o cenário TCSF, que apresentou o melhor resultado, a variação com as demais situações é de 118% a 316% como apresentada no Tabela 4.4. Se comparada apenas a energia de fabricação, observa-se que a energia de produção da telha termoacústica na fábrica e o uso do EPS são fatores preponderantes para essa diferença.

Tabela 4.4 – Variação EI com relação ao melhor cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m²)	VARIAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO III
Cenário I - TTSF	830,43	117,98%
Cenário II - TTCF	1.584,35	315,88%
Cenário III - TCSF	380,96	-
Cenário IV - TCCF	1.247,43	227,44%

Quando comparados os resultados entre o mesmo tipo de telha (Tabela 4.5), observa-se variações de 91% e 227% que, conforme exposto anteriormente, deve-se a presença da laje de concreto.

Tabela 4.5 – Variação EI entre cenários com mesmo tipo de telha (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m²)	VARIAÇÃO ENTRE MESMO TIPO DE TELHA
Cenário I - TTSTF	830,43	91,00%
Cenário II - TTCTF	1.584,35	
Cenário III - TCSF	380,96	227,00%
Cenário IV - TCCF	1.247,43	

Quando comparados cenários que possuem laje de forro e diferentes tipos de telha (Tabela 4.6), a variação é de 27%. Em edificações sem laje e diferentes tipos de telha, essa variação é de 118%, em função da baixa EI da telha cerâmica em relação à termoacústica.

Tabela 4.6 – Comparação entre cenários em função da presença da laje de forro (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m²)	VARIAÇÃO EM RELAÇÃO A EXISTÊNCIA DA LAJE DE FORRO
Cenário I - TTSTF	830,43	117,98%
Cenário II - TTCTF	380,96	
Cenário III - TCSF	1.584,35	27,01%
Cenário IV - TCCF	1.247,43	

4.2.2 Energia de Transporte

Os valores totais da energia de transporte, calculados pela equação 3.3, estão na tabela 4.7 e os cálculos detalhados no Apêndice I.

Se avaliado apenas o transporte da telha (ver tabelas do Apêndice I), as telhas termoacústicas possuem uma energia de transporte inferior à cerâmica em função do peso das peças por metro quadrado. Nos cenários com telha termoacústica, o transporte da mesma representa no máximo 4% da Energia de Transporte. Nos cenários TCSF e TCCF, no entanto, o transporte da telha cerâmica representa 31% e 17%, respectivamente, do valor total da Energia de Transporte.

Quando comparados cenários sem laje, a variação é de 20,35%. Nos casos com laje de forro, a variação entre os dois tipos de telhas é de apenas 10,13%. Esse último percentual demonstra que os insumos para execução da laje de forro têm peso significativamente maior na energia de transporte, minimizando a influência das telhas nesse gasto energético.

Alguns insumos, tais como, aço, cal, madeira, massa e tinta apresentam grande distância do local de origem da matéria-prima. Essa distância entre ponto de origem e o consumidor final pode ser vencida com ações de fomento à instalação de locais de produção e extração em todo o país ou à pesquisa de materiais alternativos e regionais que possam exercer a mesma função construtiva. A descentralização em relação aos grandes centros urbanos é uma das alternativas apontadas pela Agenda 21.

Observa-se que as mesmas incidências da energia incorporada ocorrem na etapa de transporte, sendo que o cenário TCSF apresenta a menor energia de transporte, seguido pelo TTSF (Gráfico 4.2). Esse fato se explica pelo menor número e peso de insumos a serem transportados e distância ao sítio da obra, como exposto anteriormente.

As variações de energia de transporte entre cenários com mesmo tipo de telha são: 63% entre as telhas termoacústicas; e 78% entre telhas cerâmicas. Esse resultado demonstra o acréscimo energético provocado pela inserção da laje de forro.

Tabela 4.7 – Energia de Transporte dos cenários (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE TRANSPORTE (MJ/m²)
Cenário I - TTSF	22,65
Cenário II - TTCF	36,98
Cenário III - TCSF	18,82
Cenário IV - TCCF	33,58

4.2.3 Energia de Execução

A memória de cálculo e os valores encontrados com a aplicação da equação 3.4 são apresentados no Apêndice J e valor total por cenário na Tabela 4.8. Nessa etapa, a energia de execução da telha termoacústica aço/aço apresenta o menor valor (6,53 MJ/m²), seguido pela TCSF (6,97 MJ/m²).

Tabela 4.8 – Energia de Execução de cada cenário

CENÁRIO	ENERGIA DE EXECUÇÃO (MJ/m²)
Cenário I - TTSF	6,53
Cenário II - TTCF	176,73
Cenário III - TCSF	6,97
Cenário IV - TCCF	177,17

Todos os cenários sem laje de forro obtiveram os menores valores em função da quantidade de serviços a serem executados e de insumos envolvidos, demandando menos tempo de mão-de-obra que é o insumo mais recorrente na fase de instalação.

Comparando os cenários (ver tabelas do Apêndice J), identifica-se, como nas etapas anteriores, que a presença da laje de forro aumenta significativamente o gasto energético, onde se destaca o consumo de energia do equipamento para vibração do concreto. Mantido o tipo de telha, a variação entre situações de laje é de 96% (ver Tabela 4.9) em relação ao maior valor. Isso demonstra que o principal fator de impacto na Energia de Execução é a adição da laje de concreto e os serviços correlatos. A análise dos diversos tipos de serviços executados, aponta que o equipamento vibrador possui, isoladamente, o maior consumo de energia. Esse fato pode motivar o uso do concreto auto-adensável, cabendo pesquisa comparativa entre esses dois tipos de concreto.

Tabela 4.9 – Variação da Energia de Execução por tipos similares de telha (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE EXECUÇÃO (MJ/m²)	VARIAÇÃO ENTRE MESMO TIPO DE TELHA (%)
Cenário I - TTST	6,53	96,31%
Cenário II - TTCT	176,73	
Cenário III - TCTST	6,97	96,07%
Cenário IV - TCTCT	177,17	

Quando comparados cenários em condição similar de laje de forro (Tabela 4.10), variando apenas a telha, as diferenças são de 6,35% e 0,25%. Quando comparados apenas os serviços de instalação das telhas, é possível observar que a telha termoacústica gasta menos energia em função da menor quantidade de homens-horas demandada no serviço.

Tabela 4.10 – Variação da energia de execução em cenários com mesma situação de laje de forro
(Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE EXECUÇÃO (MJ/m ²)	VARIAÇÃO EM RELAÇÃO A EXISTÊNCIA DE LAJE DE FORRO (%)
Cenário I - TTSF	6,53	6,35%
Cenário III - TCSF	6,97	
Cenário II - TTCF	176,73	0,25%
Cenário IV - TCCF	177,17	

4.2.4 Valor Total Energia da fase de Pré-Uso

O somatório das etapas da fase de Pré-Uso resulta nos seguintes valores de Energia Incorporada Inicial (Tabela 4.11):

Tabela 4.11 – Energia Incorporada Inicial de cada cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA (MJ/m ²) (A)	ENERGIA TRANSPORTE (MJ/m ²) (B)	ENERGIA EXECUÇÃO (MJ/m ²) (C)	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m ²) (A+B+C)
Cenário I - TTSF	830,43	22,65	6,53	859,60
Cenário II - TTCF	1584,35	36,98	176,73	1798,06
Cenário III - TCSF	380,96	18,82	6,97	406,75
Cenário IV - TCCF	1247,43	33,58	177,17	1458,18

O acréscimo de energia provocado pela presença da laje se reproduz nos valores totais, por motivos expostos em cada etapa. Conclui-se ainda que nessa fase, o sistema de vedação horizontal com menor gasto energético é aquele constituído apenas da telha cerâmica tipo Plan (TCSF). Esse resultado, como explicado anteriormente, é resultante principalmente da baixa energia da telha cerâmica e da ausência da laje de forro.

4.3 FASE DE USO

4.3.1 Energia de Uso da edificação

A memória de cálculo da energia de uso está no Apêndice K e os valores totais são apresentados na Tabela 4.12. Os valores de energia de uso dos cenários em estudo estão na faixa de 223 KWh/mês a 232 KWh/mês, resultado superior a 166KWh, média de 2014 informado pela EPE. No entanto, é sabido que o consumo de energia é variável para cada região brasileira. Pesquisa do LabEEE (2009) aponta que a região Sul possui um consumo residencial de 273,1 kWh/mês no verão e 261,3 kWh/mês no inverno. Na região Norte, por sua vez, esse consumo é de 96,5 kWh/mês no verão e 81,0 kWh/mês no inverno. Na zona bioclimática 1, o consumo médio no verão atinge 310,6 kWh/mês e no inverno 280,7 kWh/mês. Essa diferença no consumo de energia pode ser ocasionada pelo uso do condicionamento de ar tipo Split na edificação, que foi considerado neste estudo para ressaltar a diferença de gasto energético entre as tipologias.

Os cálculos demonstram que o cenário TTCF apresenta menor energia de uso, sendo que esse resultado provavelmente é ocasionado pelo melhor desempenho térmico e conseqüentemente, menor uso do condicionamento de ar. Tal hipótese baseia-se no fato de que os demais consumos de energia são constantes nos cenários, tendo como única variável o consumo do Split.

A menor necessidade de condicionamento de ar no TTCF deve-se à laje de concreto e à baixa transmitância térmica do EPS. A câmara de ar entre a telha e a laje e a alta densidade do concreto são barreiras para a transmissão do calor. O poliestireno expandido, em função da sua composição ser predominantemente de ar, como visto anteriormente, também é uma barreira de transmissão de calor. Os demais cenários apresentam valor médio de 2.739 KWh/ano, logo sem variação significativas: 2,9% entre TTSF e TTCF; e 4% entre TCSF e TCCF.

Tabela 4.12 – Energia de Uso por ano dos cenários (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE USO (KWh)/ano
Cenário I - TTSF	2.751,82
Cenário II - TTCF	2.671,32
Cenário III - TCSF	2.790,10
Cenário IV - TCCF	2.677,58

Se comparado o cenário TTSF com TCSF, observa-se que o segundo possui menor consumo de energia, logo a aplicação da telha termoacústica sem a laje de forro não representa redução de consumo de energia. Este fato pode ser verificado com a comparação entre o consumo energético de TTSF com TCCF. Logo conclui-se que o material isolante da telha não resulta num ambiente com significativo ganho de conforto térmico. Esse resultado difere dos encontrados na pesquisa de Zinzi e Agnoli (2011) para casas no Mediterrâneo, porém naquele local a energia demandada para o aquecimento é maior do que a de resfriamento, situação oposta a maioria do território brasileiro, sendo essa a hipótese para tal divergência. O consumo para 50 anos de vida útil do projeto está apresentado na Tabela 4.13, cujos valores finais da Energia de Uso foram transformados em metro quadrado de construção.

Tabela 4.13 – Energia de Uso durante a vida útil por cenários (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE USO (KWh) - Cálculo <i>Design Builder</i>/ Vida Útil	ENERGIA DE USO/ VIDA ÚTIL (MJ)	ENERGIA DE USO/ VIDA ÚTIL (MJ/m²)
Cenário I - TTSF	137.591,00	495.252,49	10.851,28
Cenário II - TTCF	133.566,00	480.764,69	10.533,85
Cenário III - TCSF	139.505,00	502.141,85	11.002,23
Cenário IV - TCCF	133.879,00	481.891,32	10.558,53

Observação:

1 MJ = 0,277819905 KWH

4.3.2 Energia de Manutenção

Utilizando a equação 3.5, os cálculos da energia de manutenção de cada cenário estão no Apêndice L os totais são os apresentados na tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Energia de Manutenção de cada cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m ²)
Cenário I - TTSTF	986,83
Cenário II - TTCTF	2.439,61
Cenário III - TCSF	866,23
Cenário IV - TCCF	2.467,62

Os resultados demonstram que o cenário TCSF apresenta a menor energia de manutenção, apesar da telha cerâmica ter menor vida útil do que a termoacústica. Esse resultado é ocasionado pela menor EI da telha cerâmica em relação à termoacústica e à ausência da laje de forro, reduzindo os serviços de manutenção de pintura.

O cenário TTSTF apresenta uma energia de manutenção 14% acima da TCSF, ocasionada pelo alto consumo energético de produção da telha termoacústica de reposição. É importante destacar que a vida útil da telha termoacústica é 52% maior do que a telha cerâmica, segundo dado fornecido pelo fabricante ^[2]. Destaca-se ainda que a telha termoacústica é um produto relativamente novo no mercado, carecendo de dados históricos que referendem essa informação.

² A telha termoacústica é um produto relativamente novo no mercado, carecendo de dados históricos que referendem essa informação

A relevância das reposições pode ser observada na Tabela 4.15 e no Figura 4.2 que demonstram o comparativo entre a fase de Pré-Usado e de Manutenção. Essa comparação é realizada por serem etapas com diversos serviços similares, tais como: fabricação do produto, transporte e instalação. A revisão da pintura aumenta significativamente a energia de manutenção que, segundo apontado por Haynes (2010), é responsável pelo alto valor de energia nas edificações.

Tabela 4.15 – Comparação entre energia da manutenção e da Fase de Pré-Usado (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m ²)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m ²)	VARIAÇÃO PERCENTUAL (%)
Cenário I - TTST	859,60	986,83	14,80%
Cenário II - TTCT	1.798,06	2.439,61	35,68%
Cenário III - TCTST	406,75	866,23	112,96%
Cenário IV - TCTCT	1.458,18	2.467,62	69,23%

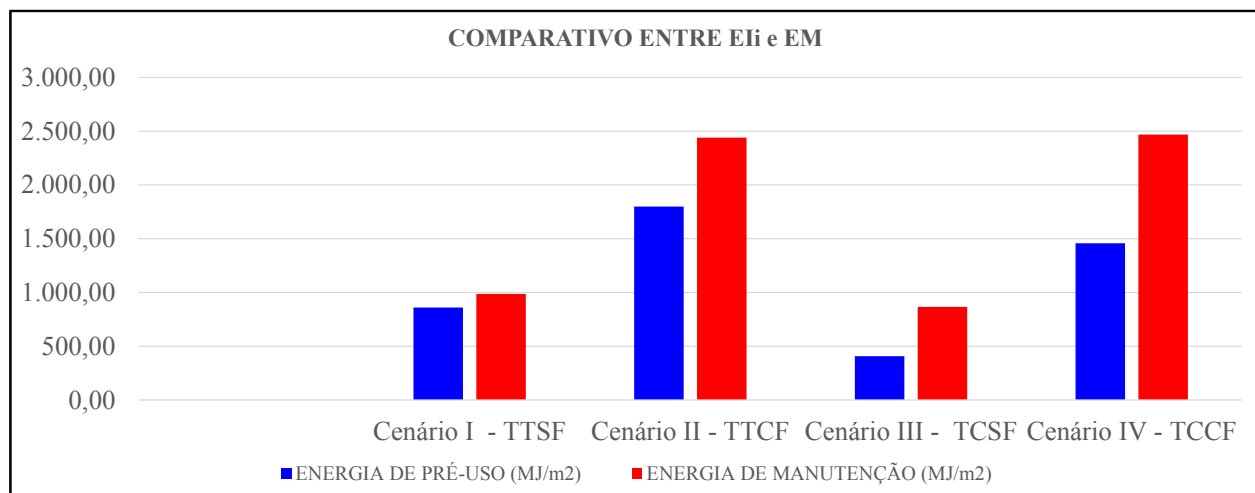


Figura 4.2 – Comparativo entre a Energia Incorporada Inicial e a de Manutenção.

4.3.3 Valor Total da Energia Recorrente

Com base nos dados de energia de uso e manutenção é possível calcular a energia recorrente (Tabela 4.16 e Figura 4.3). Observa-se que os valores totais apresentam variações inferiores a 10% e que o TTSTF é o melhor cenário e o TCCF. Como a variação da Energia de Uso dos diversos cenários é de no máximo 4%, a energia de manutenção é o fator preponderante para as diferenças de valor de energia recorrente. Isso reforça a necessidade de se avaliar os serviços de manutenção necessários durante a escolha dos materiais.

Tabela 4.16 – Energia Recorrente de cada cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE USO (MJ/m²) (A)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m²) (B)	ENERGIA RECORRENTE (MJ/m²) (A+B)
Cenário I - TTSTF	10.851,28	986,83	11.838,11
Cenário II - TTSTF	10.533,85	2.439,61	12.973,46
Cenário III - TCSF	11.002,23	866,23	11.868,46
Cenário IV - TCCF	10.558,53	2.467,62	13.026,15

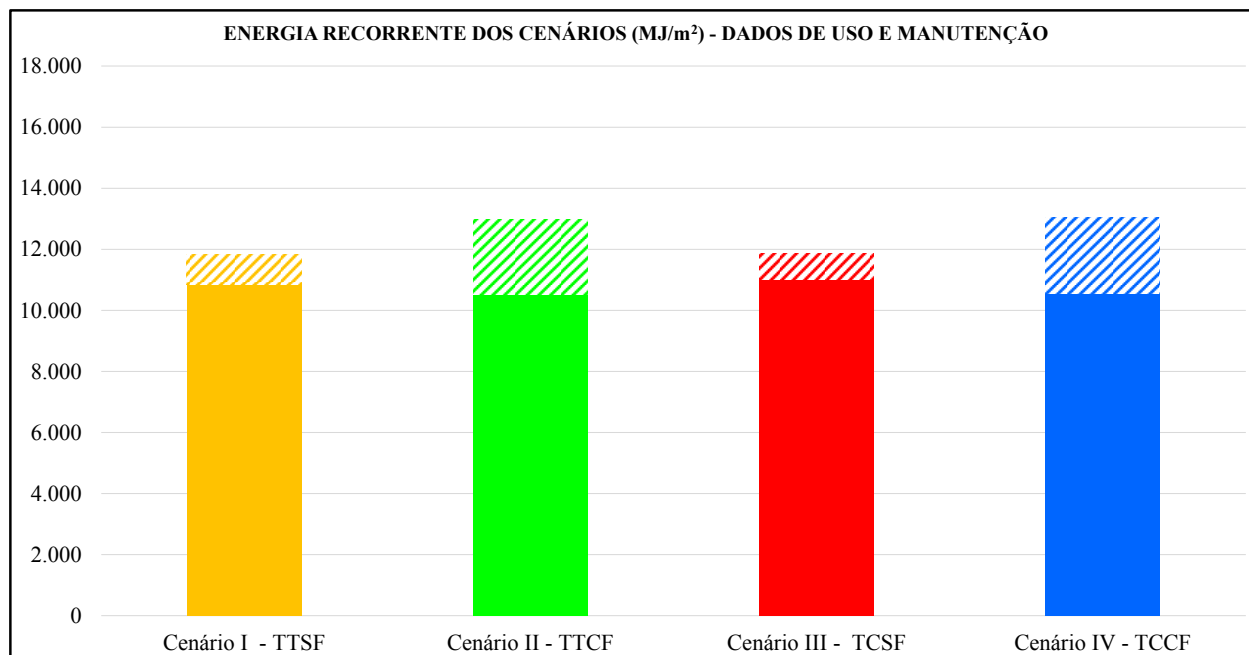


Figura 4.3 – Energia Recorrente de cada cenário (Autor)

4.4 ENERGIA TOTAL FASE DE PRÉ-USO, USO E MANUTENÇÃO

A energia total de cada cenário da fase de Pré-Usos, Uso e Manutenção, calculada pela equação 3.7, está apresentada na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Energia incorporada total de Pré-Usos, Uso e Manutenção (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m²) (A)	ENERGIA OPERACIONAL OU RECORRENTE		ENERGIA TOTAL PRÉ-USO E RECORRENTE (MJ/m²) (A+B+C)
		ENERGIA DE USO (MJ/m²) (B)	ENERGIA DE MANUTENÇÃO (MJ/m²) (C)	
Cenário I - TTSTF	859,60	10.851,28	986,83	12.697,71
Cenário II - TTCF	1.798,06	10.533,85	2.439,61	14.771,52
Cenário III - TCSF	406,75	11.002,23	866,23	12.275,21
Cenário IV - TCCF	1.458,18	10.558,53	2.467,62	14.484,33

A comparação em condições similares de laje, ou seja, TTSF com TCSF e TTCF com TCCF, demonstra uma variação de no máximo 3,3% e 1,9%, respectivamente. Conclui-se que a telha não representa um diferencial significativo de economia de energia. No entanto, se verificada as situações com telhas similares, ou seja, TTSF com TTCF e TCSF com TCCF, o acréscimo de energia é de 15%. Isso demonstra, como observada em cada etapa, que o principal fator de aumento de energia são os serviços correlatos à colocação da laje de forro.

Ressalta-se que esses dados devem ser convertidos para Energia Primária, cujos cálculos são demonstrados em capítulo específico.

Comparando os diversos cenários quanto à parcela de energia incorporada inicial (E_I) e recorrente (E_R) na energia incorporada total (E_{IT}) dessa pesquisa, observa-se que E_I corresponde a um percentual de 2,1 a 8,3% e que a Energia Recorrente, 91,7 a 97,9%. Os cenários com laje de Forro, TTCF e TCCF, possuem E_I de 8,3% e 6,8%, respectivamente. Nos cenários TTSF e TCSF, a E_I corresponde a 4,3% e 2,1%, respectivamente.

O alto percentual de energia recorrente observado na fase operacional (média de 95%), acima dos estudos mencionados nessa pesquisa, provavelmente é ocasionado pelo foco apenas no sistema de vedação horizontal.

O relatório da UNEP (2007), indica que no Reino Unido cerca de 10% do consumo total de energia está incorporado nos materiais, ou seja, é aplicado na fabricação dos componentes. Esse dado diverge do cenário nacional provavelmente pelo alto grau de industrialização naquele país. Quanto ao Transporte, apesar dele não ser um valor representativo, não deve ser desprezado; nesse estudo foi adotado um consumo de energia único para todos, todavia, diferentes modais de transporte representam gastos distintos de consumo.

4.5 FATOR DE CORREÇÃO DA ENERGIA SECUNDÁRIA

Visando utilizar um percentual que melhor representa a média histórica dos fatores de correção, foram levantados diversos dados existentes na bibliografia (Tabela 4.18).:

Tabela 4.18 – Fatores de Conversão de referência (Autor)

VALOR	FONTE
1,67	Maciel (2013)
1,62	Pedroso (2015)
1,60	Paulsen e Sposto (2013) - com base em inventário de 2003

O Fator de Correção médio calculado nas três bibliografias citadas é 1,63 e o desvio padrão desse universo é de 3%.

$$FC = (1,67 + 1,62 + 1,6) / 3 = 1,63$$

O IEA define a energia primária como aquela energia bruta gerada na usina. Todavia, ao se usar um dado equipamento, essa energia consumida envolve diversas perdas, sendo denominada de energia secundária. Em função disto, é necessária a conversão da energia de uso final para energia primária aplicando o fator de correção (FC), o que resulta nos valores da energia primária apresentados na Tabela 4.19.

Conclui-se que os cenários sem laje de forro apresentam a menor energia primária e que, dentre elas, aquele com a telha cerâmica tipo Plan resulta no menor valor, ocasionado, provavelmente, pela menor energia de produção desse produto. Observa-se ainda que as etapas com laje de forro possuem os maiores valores de energia primária, ocasionado pela manutenção de pintura e a alta energia incorporada dos materiais.

É possível concluir ainda que, no tocante à eficiência energética, o uso da telha termoacústica não representa um fator decisivo em cada cenário. A autora alerta, porém, para a dificuldade na obtenção de dados de produção das telhas termoacústicas, fato esse que pode ter provocado a baixa variabilidade em relação a telha cerâmica. Também é importante destacar que uma ACVE é a avaliação para dada condição geográfica e socioeconômica, logo esse resultado pode ser divergente em outras regiões.

Tabela 4.19 – Energia Recorrente convertida em energia primária necessária em cada cenário
(Autor)

CENÁRIO	ENERGIA OPERACIONAL OU RECORRENTE			
	EU (MJ/m ²) Secundária (A)	EU (MJ/m ²) Primária (B x FC) (B)	EM (MJ/m ²) (C)	ER (MJ/m ²) (A+B+C)
Cenário I - TTSTF	10.851,28	17.687,59	986,83	18.674,42
Cenário II - TTCTF	10.533,85	17.170,17	2.439,61	19.609,78
Cenário III - TCSF	11.002,23	17.933,64	866,23	18.799,86
Cenário IV - TCCF	10.558,53	17.210,40	2.467,62	19.678,03

Tabela 4.20 – Energia primária necessária em cada cenário (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA INCORPORADA INICIAL (MJ/m²) (A)	ENERGIA RECORRENTE	TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA (MJ/m²) (A+C+D)
Cenário I - TTSTF	859,60	18.674,42	19.534,02
Cenário II - TTCTF	1.798,06	19.609,78	21.407,84
Cenário III - TCTSF	406,75	18.799,86	19.206,61
Cenário IV - TCTCF	1.458,18	19.678,03	21.136,21

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral desse estudo foi avaliar se as telhas termoacústicas com núcleo de poliestireno expandido apresentam melhor eficiência energética em relação às telhas cerâmicas. Os quatro cenários elaborados demonstraram que a telha termoacústica não possui um menor gasto energético quando comparado com sistema construtivo similar (com ou sem laje de forro). Todavia essa variação é inferior a 2%, logo não representa um ganho significativo, mas é importante ressaltar que uma ACVE é o retrato de uma situação específica para uma dada região e uma determinada situação no tempo. Ou seja, os sistemas de vedação horizontal propostos nesse projeto devem ser avaliados para cada situação de espaço e tempo, pois:

- a disponibilidade de matéria-prima é variável em cada região, impactando na distância de transporte;
- a metodologia de extração pode ser otimizada por meio de novas tecnologias;
- os avanços na fabricação dos produtos podem ampliar a vida útil dos produtos, diminuindo a quantidade de reposições e, conseqüentemente, a energia de manutenção.

Visando atender também os objetivos específicos da pesquisa é apresentada a seguir uma avaliação sobre a energia de cada etapa do ciclo de vida dos quatro cenários propostos.

A energia de incorporada dos materiais demonstra que o cenário TCSF possui a menor energia incorporada com $380,96 \text{ MJ/m}^2$, em função da baixa energia incorporada da telha cerâmica. Esse resultado deve ser ocasionado pelo processo produtivo da telha cerâmica, visto que esta é fabricada em fornos à lenha e possui energia de fabricação de $336,96 \text{ MJ/m}^2$ enquanto a telha termoacústica é industrializada e possui maior energia incorporada nos diversos materiais constituintes resultando em $748,40 \text{ MJ/m}^2$ na produção dessa última telha.

Os cenários com laje de forro apresentam maior Energia Incorporada, principalmente em função do volume de concreto. O concreto apesar da baixa energia embutida ($3,10 \text{ MJ/m}^3$), mas

possui alta densidade (2.300 Kg/m^3), resultando em significativo acréscimo de Energia Incorporada nos cenários com laje de forro.

Quanto à energia de transporte, os valores demonstraram que as telhas termoacústicas possuem, isoladamente, ET inferior à cerâmica em função do peso das peças por metro quadrado. Todavia, comparando o cenário TTSF e TCSF, os resultados demonstram que a TCSF apresentou o menor valor total, ocasionado pelo menor gasto energético da estrutura da cobertura.

Nos cenários com laje de forro (TTCF e TCCF), a variação de ET é de 10%, sendo a estrutura da cobertura a principal causa dessa variação, visto que os serviços da laje de forro (concreto, chapisco, reboco e pintura) possuem o mesmo gasto de energia em ambos os casos.

Foi observado ainda que as grandes distâncias a serem percorridas por alguns materiais impactam significativamente na Energia de Transporte, por isto, ações de descentralização em relação aos grandes centros urbanos ou que diminuam a dependência em relação a esses pontos são alternativas importantes para minimizar esse tipo de gasto energético.

As variações de energia de transporte entre cenários com mesmo tipo de telha são: 63% para as telhas termoacústicas e 56% para telhas cerâmicas. Nos cenários TTCF e TCCF, a execução da laje não provoca diferença de valor na energia de transporte, visto que esse serviço apresenta os mesmos gastos energéticos em ambas as situações.

Os cálculos da energia de execução apontaram que a telha termoacústica aço/aço apresenta o menor valor ($6,53 \text{ MJ/m}^2$), seguido pela telha cerâmica Plan sem laje de forro ($6,97 \text{ MJ/m}^2$). Todos os cenários sem laje de forro (TTSF e TCSF) apresentaram os menores valores, em função da quantidade de serviços e o menor tempo de mão-de-obra envolvida. Observa-se ainda que a colocação da telha cerâmica demanda quantidade maior de horas de mão de obra, logo maior gasto energético.

Comparando a Energia Incorporada Inicial dos cenários conclui-se que a presença da Laje de forro aumenta significativamente o gasto energético em função do concreto e dos demais serviços necessários (chapisco, reboco e pintura), porém sem diferenças significativas quando

comparados os gráficos de temperatura interna dos ambientes, constantes no Apêndice M. Avaliando os diversos tipos de serviços executados, observa-se que a laje de forro apresenta o maior consumo de energia, fato ocasionado pelo uso do vibrador de concreto que possui alto gasto energético.

A Energia de Uso da edificação dos quatro cenários indica um consumo de energia na faixa de 223 KWh/mês a 232 KWh/mês, resultado superior ao apresentado pela EPE de 166 KWh para 2014. No entanto, cabe destacar que o valor divulgado pela EPE representa uma média nacional e que o consumo de energia é variável conforme as condições climáticas das regiões brasileiras. O consumo energético da zona bioclimática 4 pode ser estudada em pesquisa específica.

Os cálculos demonstram que o cenário TTCF apresenta menor EU, sendo que esse resultado provavelmente é ocasionado pelo melhor desempenho térmico e conseqüentemente, menor uso do condicionamento de ar. A menor necessidade de condicionamento de ar no TTCF deve-se à laje de concreto e à baixa transmitância térmica do EPS. Como exposto anteriormente, o poliestireno expandido é formado predominantemente por ar, sendo um material com boas características de isolamento térmico. Os demais cenários apresentam valor médio de 2.739 KWh/ano, logo sem variação significativas: 2,9% entre TTSF e TTCF; e 4% entre TCSF e TCCF.

Os resultados da energia de manutenção indicam que o cenário TCSF apresenta o menor gasto energético. Tal fato deve-se à menor energia de produção da telha e a inexistência da laje de forro. Cabe destacar que o tempo de vida útil da telha termoacústica é 90% maior do que a telha cerâmica, porém esse dado é fornecido pela fabricante.

Destaca-se também a relevância das reposições no valor total da EM, principalmente do serviço de revisão da pintura. Esse serviço aumenta significativamente a energia de manutenção e reforça a afirmação de Haynes (2010) sobre o alto valor de energia gastos nas edificações com serviços de pintura.

A comparação do gasto de energia primária em condições similares de Laje, ou seja, TTSF com TCSF e TTCF com TCCF demonstra uma variação inferior a 2%. Se verificada que as situações com telhas similares, ou seja, TTSF com TTCF e TCSF com TCCF, o acréscimo de energia é

em torno de 9%. Observa-se uma variação maior em função da existência da laje de forro do que em relação ao tipo de telhas.

Quanto ao desempenho térmico, todos os cenários atenderam à norma quando aplicado o Sistema Computacional *DesignBuilder*, porém na análise simplificada apenas as telhas termoacústicas atenderam os requisitos estabelecidos para a condição de verão. Esses resultados das telhas termoacústicas eram esperados em função do núcleo de poliestireno expandido que apresenta uma baixa capacidade de transmissão de calor.

Por fim, os diversos tipos de telhas estudadas não apresentam bons resultados na condição de inverno. A zona bioclimática 4 é considerada como uma região quente, porém tal desempenho indica a necessidade de aquecimento em certas épocas do ano.

Diante do exposto, é possível concluir que o tipo de telha não representa uma redução significativa de energia ao longo da vida útil de uma edificação habitacional para o modelo estabelecido, mas a execução de laje de forro pode acrescer em 10% o consumo energético. No entanto, cabe destacar ainda que os cenários com laje de forro apresentaram os menores valores de energia de uso, com economia na faixa entre 3% a 4%.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa reforça também a necessidade de estabelecimento de um padrão de inventário para levantamento de informações sobre a produção e uso de materiais na construção civil. No Brasil, a matéria prima é tratada como uma propriedade daquele que o vende ou o compra, porém, o recurso natural não deve ser considerado como bem patrimonial de uma pessoa ou entidade, pois o seu consumo pode provocar um déficit que afeta toda sociedade, seja no presente ou no futuro. Esta forma de tratamento da matéria-prima prejudica a obtenção de dados que permitam um inventário consistente dos produtos produzidos no país. Vários fornecedores não disponibilizam os dados de fabricação, tais como, quantidade de material utilizado, energia consumida na fabricação, quantidade de resíduos gerados, etc. Por isto, considera-se importante o estabelecimento de obrigatoriedade das empresas de declarar a energia gasta na fabricação de cada produto.

Neste estudo, foram contactados cinco fornecedores, cujos sítios eletrônicos indicavam a produção desse tipo de telha, mas apenas um enviou os dados solicitados, quando adotado um questionário simplificado, ou seja, com um número menor de informações daquelas inicialmente previstas. Os demais informaram que eram produtores, apenas revendedores e outros alegaram que as informações eram confidenciais. Todavia, cabe destacar que a quantidade de matéria-prima consumida, a energia consumida e os gases emitidos deveriam ser dados públicos, pois fazem parte de um ciclo de longo prazo da sustentabilidade do planeta.

Os cálculos demonstraram também que a distância entre o ponto de origem do insumo e o consumidor final impactam na energia de transporte, sendo possível melhorar a eficiência energética com ações de fomento à instalação de locais de produção e extração em todo o país ou à pesquisa de materiais alternativos e regionais que possam exercer a mesma função construtiva.

Foi possível observar também que a ACVE é o retrato de um produto ou sistema numa dada região com base na disponibilidade de insumos naquele local e naquela época, por isto, os resultados encontrados nessa pesquisa são restritos a uma situação específica e não podem ser utilizados para descartar sistemas de vedação horizontal.

Outro dado relevante detectado nessa pesquisa é a alta média de temperatura, no DF, durante o mês de setembro, quando começa a primavera, ultrapassando as temperaturas médias do Verão. Esse fato demonstra a necessidade de se adequar a norma às realidades regionais com o objetivo de realizar a melhor avaliação do desempenho térmico da edificação.

Também destaca-se a necessidade de desenvolvimento de *software* brasileiro para cálculo de desempenho térmico e consumo de energia, pois a baixa variação dos resultados de energia de uso entre os quatro cenários, ocasionou dúvidas sobre a validade dessa ferramenta para a realidade brasileira.

6. ESTUDOS FUTUROS

A autora sugere os seguintes estudos futuros:

- Avaliação do impacto da reciclagem e reuso dos produtos das telhas termoacústicas na Análise do Ciclo de Vida Energético desse material;
- Levantamento, por meio de inventário padronizado, da energia de produção das telhas termoacústicas;
- Desenvolvimento de uma proposta de inventário para levantamento de informações sobre a produção e uso de materiais na construção civil;
- Avaliação da consumo energético anual das edificações para a zona bioclimática 4, de forma a ter um dado confiável sobre a energia de uso da edificação habitacional, visto que essa pesquisa indicou valores maiores do que a média nacional;
- Análise do conforto térmico de edificações na zona bioclimática 4 quando avaliada a condição de inverno. Sugere-se uma pesquisa qualitativa com os moradores para identificar se os critérios de desempenho térmico estabelecidos em norma atendem às necessidades dos usuários.
- Estudo comparativo entre a energia incorporada inicial de uma estrutura em concreto convencional e o auto-adensável, em função do alto consumo energético com mão-de-obra e equipamento, observados nessa pesquisa;
- Estudos comparativos entre as telhas termoacústicas e as telhas cerâmica tipo Plan considerando forro de PVC ou de madeira, laje mais fina ou executada com placas de concreto armado pré-fabricada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

© GOOGLE. © **Google Street View**. © Google Maps, maio 2014. Disponível em: www.google.com.br/maps, acessado em: 15 janeiro 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais: estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos, Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575-5**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas, Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades, Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.310**: Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16.373**: Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho – estabelece os requisitos de classificação de desempenho para especificação, encomenda, fabricação e fornecimento de telhas metálicas, a partir de aço galvanizado, galvalume, alumínio e aço inoxidável de seção ondulada ou trapezoidal, zipada ou painéis metálicos, camada de material isolante com características térmicas e acústicas e de flamabilidade, Rio de Janeiro, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 14.040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura, Rio de Janeiro, 2009 (versão corrigida 2014)

AGENDA 21 - **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**, 2000

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), **Atlas Energético Nacional**, Brasil, 2002, 153 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), **Atlas da Energia Elétrica do Brasil** – 3ª Edição, Brasil, 2008

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), **Balanco Energético Nacional**, Brasil. I. 2015

ANICER - **Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto**, Quantis Canadá, Quebec, Canadá, 2011.

ASHRAE – **Handbook Fundamentals** (I-P Edition), Publisher American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM) – **Esquema de produção de telhas**, disponível em <http://www.abceram.org.br/>, acessado em 25 de janeiro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM) - **Manual Técnico Telhas de Aço**, Ed.1, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX), disponível no site <http://www.abrapex.com.br/>, acessado em 20/04/2015 e 15/01/2016.

BANDEIRA, LUCIANA - **A influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical**. 2015, 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

BASTOS, FREDERICO – **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. 2003, 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

PEREIRA, MARCOS - **Conteúdo energético e emissões de CO2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso**. 2014, 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

BRASIL – **Resolução Conmetro nº 04/2010** - Dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências, 2010.

CAIXA – **Programa Minha Casa Minha Vida** – Recursos FAR, disponível no site <http://www.caixa.gov.br>, acessado em maio de 2015.

CAIXA – **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção civil**, disponível no site <http://www.caixa.gov.br>, acessado em setembro de 2015.

CATÁLOGO TÉCNICO – **Sistemas de Cobertura** – Fornecedor Isoeste, disponível no site <http://www.isoeste.com.br>, acessado em maio de 2015.

CBCA - Construção Mercado, **Cobertura Termoisolante**, reportagem de Juliana Nakamura – Agosto, 2014

CIB, 1982 - **Working with the performance approach in building**. 1982

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DF (CODEPLAN), disponível no site <http://www.codeplan.df.gov.br/>, acessado em agosto de 2015.

COELHO, M.B.O,b e BRANDÃO M.S.a **Avaliação do Ciclo de Vida de Estruturas Metálicas** – 4th International Workshop, São Paulo, 2013

DESIGNBUILDER – disponível no site <http://www.designbuilder.co.uk/>, acessado em 2015 e 2016.

DIAS, ALEXANDRA - **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. 2011, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2011

ELETOBRAS / PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso** – Ano Base 2005, Classe Residencial, Relatório Brasil, 2007.

EUROPEAN COMMISSION - **Green Public Procurement Thermal Insulation Technical Background Report** - Report for the European Commission – DG Environment by AEA, Harwell, pg. June 2010

FERREIRA, VICENTE – **Análise de ciclo de vida dos produtos. 2004, 80 p.** Instituto Politécnico de Viseu.

GIVONI, BARUCH - **Comfort, climate analysis and building design guidelines**, University of California, Los Angeles, Energy and Buildings, 18 (1992) 11 a 23, 1992.

GUIA GEOGRÁFICO – **Mapas de Brasília**, disponível no site <http://www.mapas-df.com/regioes.htm>, acessado em 20 de maio de 2015.

HABIB, RICARDO - **Tempo de retorno energético de isolantes térmicos na climatização de edificações: estudo de caso da lã de rocha na zona bioclimática 1 do Brasil.** 2014, 112 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

GERVÁSIO, HELENA MARIA - **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**, Congresso Latino Americano de Construção Metálica (Construmetal), São Paulo, 2008

GERVÁSIO, HELENA MARIA **Análise de ciclo-de-vida de casas em madeira**, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra/Portugal, 2013

GOUVEIA, GRAZIELA MORENO MONTEIRO MARTINS – **Análise energético-ambiental de fachadas com foco na reciclagem. Estudo de caso com painéis de alumínio composto “ACM” em Brasília.** 2012, 153 p. Dissertação (Mestrado Estruturas e Construção civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

GRAF e TAVARES - **Energia Incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial**, 2006.

GRIGOLETTI, GIANE – **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul.** 2001, 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

GROTE, ZILMARA e SILVEIRA, JOSÉ - **Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)**, Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, Ano 3, n. 3, p. 9-27, 2010.

HAMELIN e HAUKE – **Quality of life towards a sustainable built environment**, European Construction Technology Platform, 2005

HARRIS, D. J - **A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials**, Department of Building Engineering and Surveying. Heriot - Watt University, Riccarton, Edinburgh, U.K. artigo da Building and Environmental, 1999

HAYNES, RICHARD - **Embodied Energy Calculations within Life Cycle Analysis of Residential Buildings**, 2010.

HSU, SOPHIA - **Life Cycle Assessment of Materials and Construction in Commercial Structures: Variability and Limitations**, Rensselaer Polytechnic Institute, Massachusetts Institute of Technology, 56 p, 2010

HUBERMANN, N, **Development of a Database for Embodied Energy of Building Materials in Israel, and Applications in LCA Studies**, Workshop on Life Cycle Assessment: Data collection and Databases, 2013.

HUBERMANN, N e PEARMUTTER, D. **A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert**, *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 5, 2008, Pages 837–848, Elsevier, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Relatório de disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/>, acessado em maio de 2015 e setembro de 2015.

INSTITUTO DO AÇO DO BRASIL – disponível em <http://www.acobrasil.org.br/site2015/associadas.asp>, acessado em agosto de 2015 e janeiro de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL, Estação de Brasília, climatologia local, disponível em http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/brasilgia_clima.html, acessado em novembro de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) - **Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme (ECBCS) Strategic Plan 2007-2012**, Published by Faber Maunsell Ltd on behalf of the International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) – **Energy balances of OECD countries: beyond 2020** Documentation, 2015.

KOZAK, GREG, Printed Scholarly Books and E-book Reading Devices: **A Comparative Life Cycle Assessment of Two Book Options**. 2003, 252 p. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Sustentável) - Center for Sustainable Systems School of Natural Resources and Environment, University of Michigan.

LAMBERTS, ROBERTO – **Conforto e Stress Térmico**, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações I, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

FEDRIGO, NATÁLIA et al. - **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**, Orientador: Prof. Eneir Ghisi, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações; Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE) – **Tabela de dados climáticos**, UFSC, 2005.

MACIEL, ANA - **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília-DF**. 2013, 146 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

MANFREDINI e SATTLER – **Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**, Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-37, 2005.

MESAROS ET AL. - **Expanded polystyrene as the bearing building material of low energy construction**, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **Plano Nacional de Eficiência Energética**, 2011.

MORETTI, TÁSSIA VIOL. **Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros**. 2011, 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica da Universidade do Paraná, Curitiba.

MONICH, CARLA - **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**, 2012, 128 p.

Dissertação (Mestrado em Construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

NABUT NETO, ABDALA CARIM- **Energia Incorporada e Emissão de CO2 das fachadas. Estudo de caso de *Steel Frame* para utilização em Brasília {Distrito Federal}**. 2011, 157 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil). –Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) – **Environmentally Sustainable Buildings, Challenges and Policy**, OECD Publications Services, Paris, 2003.

PARGANA, NUNO - **Environmental impacts of the life cycle of thermal in-sulation materials of buildings**. 2012, 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto SuperiorTécnico, Universidade de Lisboa.

PAULSEN e SPOSTO - **Energia incorporada em Habitações de Interesse Social na fase de pré-uso: o caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil**, Oculum Uns, Campinas, 39 a 50, 2014.

PEDROSO, GILSON - **Metodologia para Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE) de habitação de interesse social de sistemas inovadores: estudo de caso para o Distrito Federal**, 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil). – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

PINI – **Tabela de Composição de Preços para Orçamento (TCPO) 14**, Ed. PINI, 2012.

PROGRAMA BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA, disponível no site <http://acv.ibict.br/pbacv/>, visitado em 20 de dezembro de 2015.

QUIROA HERRERA, JAIME – **Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envoltória arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso em estuo: moradia**. 2013, 172 p. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

RAMESH, TALAKONUKULA et al. – **Life Cycle Energy Analysis of a Multifamily Residential House: A Case Study in Indian Context**, Open Journal of Energy Efficiency, Scientific Research, 2013.

REVISTA CASA ABRIL, disponível no site <http://casaabril.com.br>, acessado em maio/2015.

REVISTA NOTÍCIA DA CONSTRUÇÃO, Março/2014, Página 30, Ed. 131, disponível no site https://issuu.com/sind_issuu/docs/revista_noticias_ed_131_web visitado em 15 de Janeiro de 2015.

REVISTA PINI – reportagem **Telha Termoacústica Isolante** de Juliana Nakamura, Ed. 136, 2012.

RUUKKI – **Environmental Product Declaration Sandwich Panels**, Rautaruukki Corporation, Helsink, Finland, 2012

SANTOS FILHO, VAMBERTO - **Análise de desempenho de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF**. 2015, 140 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

SARTORI e HESTNES - **Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings, A review article**, Elsevier, **Energy and Buildings**, Department of Architectural Design, History and Technology, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 7491 Trondheim, Norway, 2006

SEBRAE – **Cerâmica Vermelha Estudo de Mercado** – Série Mercado, ESPM, 2008.

STEYN, HSJ e JJSTEYN, **Sustainability, a worldview seldom practiced in choosing roof coverings for Houses**, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa, 2013.

TAVARES, S.F. **Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006, 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa Pós-Graduação Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

THE ATHENA INSTITUTE – **Minnesota Demotion Survey**: Phase two report, Prepared for: Forintek Canada Corp, 2004.

UNITED NATIONS OF ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP) – **Buildings and Climate Changes Status, Challenges and Opportunities**, 2007.

URIBE, PALACIO – **Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF**. 2013, 108 p. Dissertação (Mestrado em Construção civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

US DEPARTMENT OF ENERGY – **2010 Buildings Energy Data Book , Prepared for the Building Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy**, US Department of Energy, 2011.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – **Life Cycle Assessment: principles and practice**, Scientific Applications International Corporation, 2006.

YOSHUMURA , K.S.O et al. - **Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado**, Revista de acesso livre no site www.dema.ufcg.edu.br, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.2 (2012) 82 – 94, ISSN 1809-8797, 2012.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) - **Energy Efficiency in Buildings Facts and Trends** Full report, 2008.

ZINZI, M & AGNOLI, - **Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region**; Journal home page: www.elsevier.com/locate/enbuild; ; pg. 1 a 11; 2012.

APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO- PROCEDIMENTO SIMPLICADO

A condição de ventilação de ar, tanto para as telhas termoacústicas de EPS (aço/aço e aço/filme) como para telha cerâmica é calculada para abertura de ventilação de 5cm por 690 cm de cada lateral (cota considerada de eixo entre as duas paredes externas).

$$S = 2 \times (690 \times 5) = 6900 \text{ cm}^2$$

Para os dois tipos de telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme), a inclinação do telhado é a mesma, logo a área será:

$$A = 3,73 \times 8,05 \times 2 = 60,05 \text{ m}^2$$

Sendo que 3,73m é a largura de cada água da cobertura. Logo a relação entre as áreas de abertura e ventilação é 114,90 cm²/m²:

$$S/A = 6900/60,05 = 114,90 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Para a telha cerâmica tipo Plan a área de cobertura é:

$$A = 3,90 \times 8,05 \times 2 = 62,79 \text{ m}^2$$

Sendo que 3,90m é a largura de cada água da cobertura. Logo a relação entre as áreas de abertura e ventilação é 109,89 cm²/m²:

$$S/A = 6900/62,79 = 109,89 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Usando os dados acima na Tabela 1 da ABNT - NBR 15.220:2005, observa-se que ambas são consideradas como câmaras muito ventiladas.

A. Condição de Verão

Todavia, como a ABNT - NBR 15.220:2005 estabelece que a resistência térmica da câmara de ar ventilada em condições de verão deve ser igual a câmara de ar não ventilada da tabela B.1. Logo para cumprir essa condição, é necessário identificar, na Tabela B.2 da ABNT NBR 15.220:2005, a absorvância dos materiais utilizados:

- Telhas Termoacústicas (aço/aço e aço/filme) – acabamento externo em chapa de aço galvanizada (nova e brilhante) pré-pintada branca: $\alpha = 0,20$ e $\epsilon = 0,90$;
- Telha de barro tipo Plan: $\alpha = 0,75/0,80$ e $\epsilon = 0,85/0,95$.

Utilizando os valores de emissividade na Tabela B.1, a Resistência Térmica da Câmara de Ar é:

- Telhas Termoacústicas (aço/aço e aço/filme): com o dado da emissividade da Tabela B.2 e considerando a espessura da câmara de ar maior que 5cm, a Resistência Térmica Rar é de 0,14m².K/W (ascendente) e 0,21 m².K/W (descendente);
- Telha de barro: com o dado de emissividade da Tabela B.2 e considerando a espessura da câmara de ar maior que 5cm, a Resistência térmica Rar é 0,14 m².K/W (ascendente) e 0,21 m².K/W (descendente).

A Resistência térmica de cada componente, calculado com base na equação 3.1:

$$Rt \text{ reboco} = [(2/100)/1,15] = 0,0174$$

$$Rt \text{ Laje concreto} = [(10/100)/1,75] = 0,0571$$

$$Rt \text{ TTFS} = Rt \text{ aço interno} + Rt \text{ EPS} + Rt \text{ aço externo}$$

$$Rt \text{ (telha termoacústica aço/aço)} = \{[(0,043/100)/55] + [(5/100)/0,04] + [(0,05/100)/55]\} = 1,25$$

$$Rt \text{ (telha termoacústica aço/aço)} = Rt \text{ filme alumínio interno} + Rt \text{ EPS} + Rt \text{ aço externo}$$

$$Rt \text{ (telha termoacústica aço/aço)} = \{[(0,04/100)/5230] + [(5/100)/0,04] + [(0,05/100)/55]\} = 1,25$$

$$Rt \text{ (telha cerâmica)} = [(1,3/100)/0,9] = 0,0144 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Utilizando as equações 3.2 e 3.4, a transmitância térmica dos cenários para o Verão resultam nos dados da Tabela A.1.

Tabela A.1 - Fluxo de Ar Descendente:

Cenário	Resistência Térmica (m ² .K)/W							U (W/(m ² .K))
	Reboco	Laje maciça de concreto	Ar descendente	Telha	Rse	Rsi	Total RT	
Cenário I - TTSF	-	-	0,21	1,25	0,04	0,17	1,67	0,60
Cenário II - TTCF	0,02	0,06	0,21	1,25	0,04	0,17	1,74	0,57
Cenário III - TCSF	-	-	0,21	0,01	0,04	0,17	0,43	2,30
Cenário IV - TCCF	0,02	0,06	0,21	0,01	0,04	0,17	0,51	1,96

B. Condição de Inverno

Na condição de inverno, a norma distingue dois casos: câmara pouco ventilada e câmara muito ventilada. Nesse último caso, a camada externa à câmara não será considerada e a resistência total (ambiente a ambiente) deve ser calculada pela expressão abaixo:

Utilizando as equações 3.3 e 3.4, a transmitância térmica dos cenários para o Inverno resultam nos dados da Tabela A.2.

Tabela A.2 - Cálculo da Resistência Térmica e Transmitância (Autor)

Cenário	Resistência Térmica (m ² .K)/W			Transmitância Térmica (W/(m ² .K))
	Rsi - Ar descendente (tab. B1)	Laje maciça de concreto	Total RT	
Cenário I - TTSF	0,17	-	0,34	2,94
Cenário II - TTCF	0,17	0,06	0,40	2,52
Cenário III - TCSF	0,17	-	0,34	2,94
Cenário IV - TCCF	0,17	0,06	0,40	2,52

O item 11.2.1 da ABNT NBR 15.575-5 referente aos sistemas de cobertura, especifica os seguintes parâmetros de transmitância térmica para fluxo descendente:

Zonas 3 a 6

$\alpha \leq 0,6$ então $U \geq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

e se

$\alpha > 0,6$, então $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Avaliando a condição de verão, observa-se que ambos os cenários com as telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme), cuja absorvância é de 0,2, atendem ao critério $U \leq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; porém não atendem na condição de inverno.

Os cenários com as telhas cerâmicas, cuja absorvância é 0,75/0,8, tanto para condição de verão como inverno, não atendem ao critério de $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

4.4.2 – Avaliação de Desempenho térmico – Simulação Computacional

Utilizando o software *Design Builder*, é possível avaliar ainda com relação ao percentual de atendimento das condições de conforto estabelecido na Norma 15.575 para o dia mais frio e mais quente do ano, considerados, respectivamente, 22/06 e 11/09. Cabe destacar que o dia 11/09 não é da estação de verão, porém é o dia mais quente do ano, por isto, a adoção dessa data. A partir dos dados de temperatura gerados pelo software é possível levantar quantas horas do dia não atendem o estabelecido na norma e o percentual que representa do total:

O software *Design Builder* simula a temperatura dos ambientes de maior permanência para os dias críticas de Verão e Inverno. A correlação entre essas temperaturas e os critérios estabelecidos na ABNT NBR 15.575-1 estão demonstrados nos gráficos A-1 a A-24, sendo conforme preconiza a norma brasileira, os critérios para a zona 4 são:

- Condição de verão: $T_{i,\max} \leq T_{e,\max}$
- Condição de inverno: $T_{i,\min} \geq T_{e,\min} + 3^\circ\text{C}$

APÊNDICE B – PRODUÇÃO DE EPS E AÇO

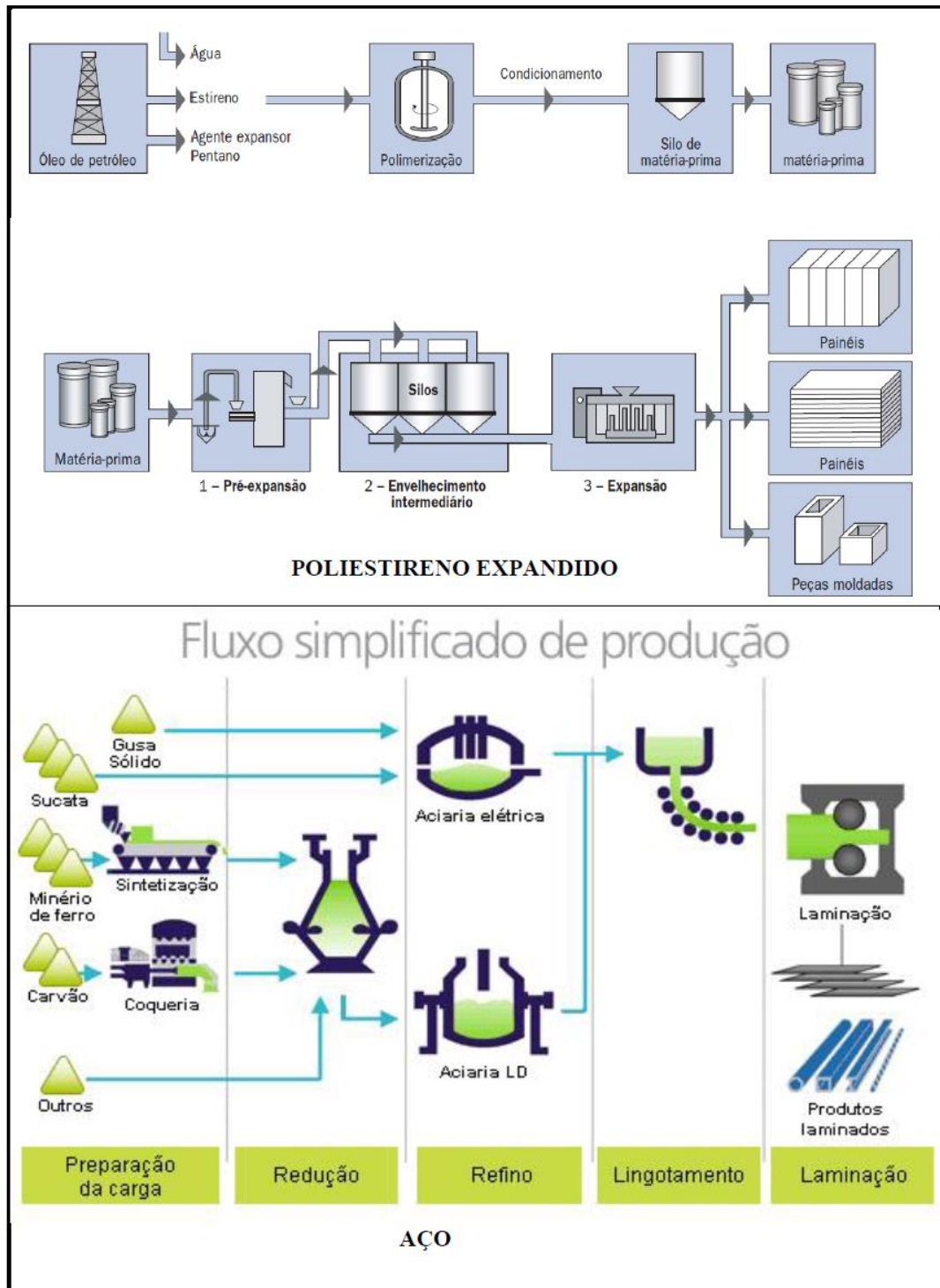


Figura B.1: Produção de EPS e aço [adaptado de Grote e Silveira (2010) e Instituto do Aço (www.acobrasil.org.br acessado em maio/2015)]

APÊNDICE C – PRODUÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS

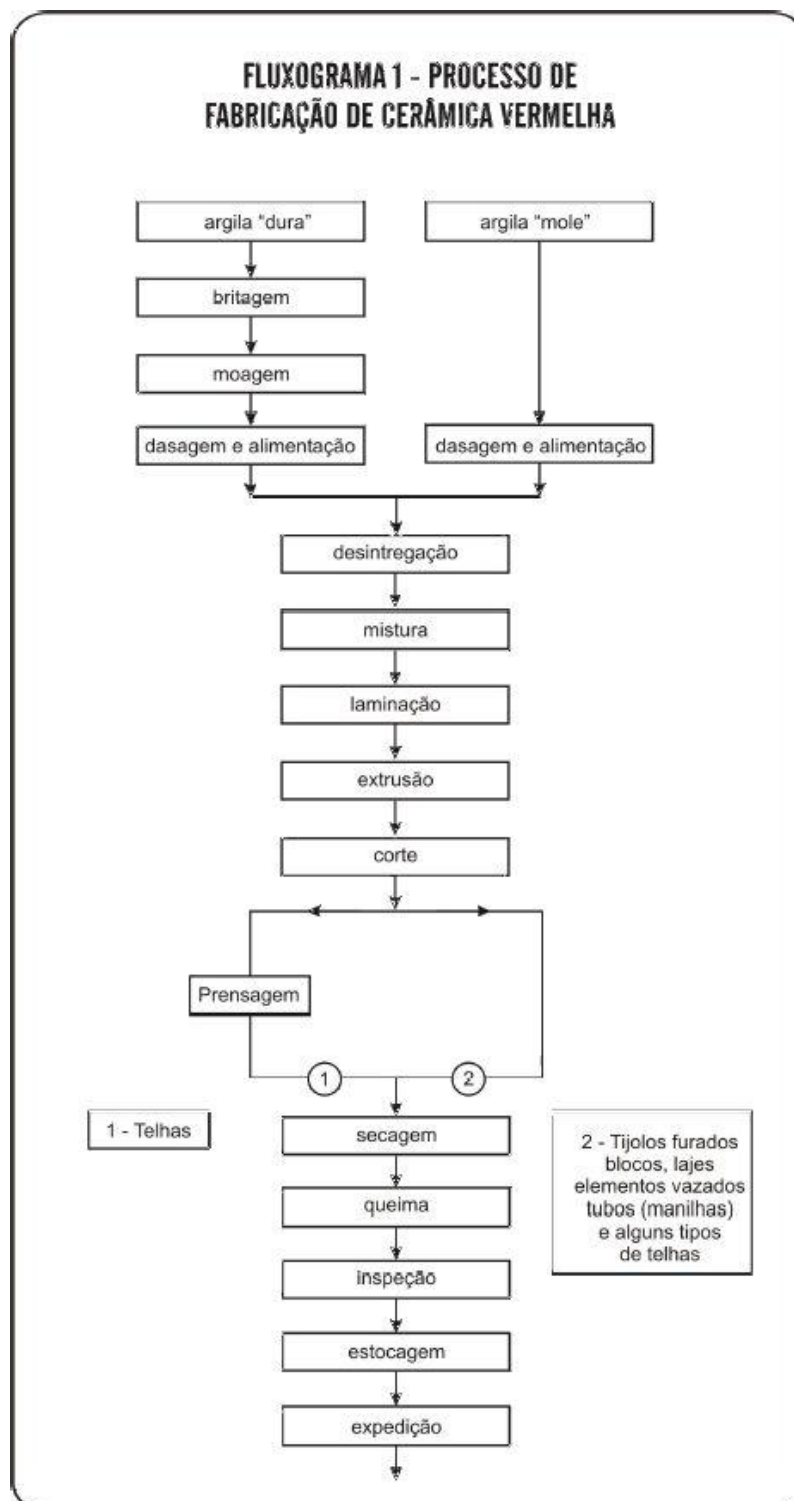


Figura C.1: Produção de telhas cerâmicas (disponível no site <http://www.abceram.org.br/>, acessado em 15 de janeiro de 2016).

APÊNDICE D – ARQUITETURA DA EDIFICAÇÃO

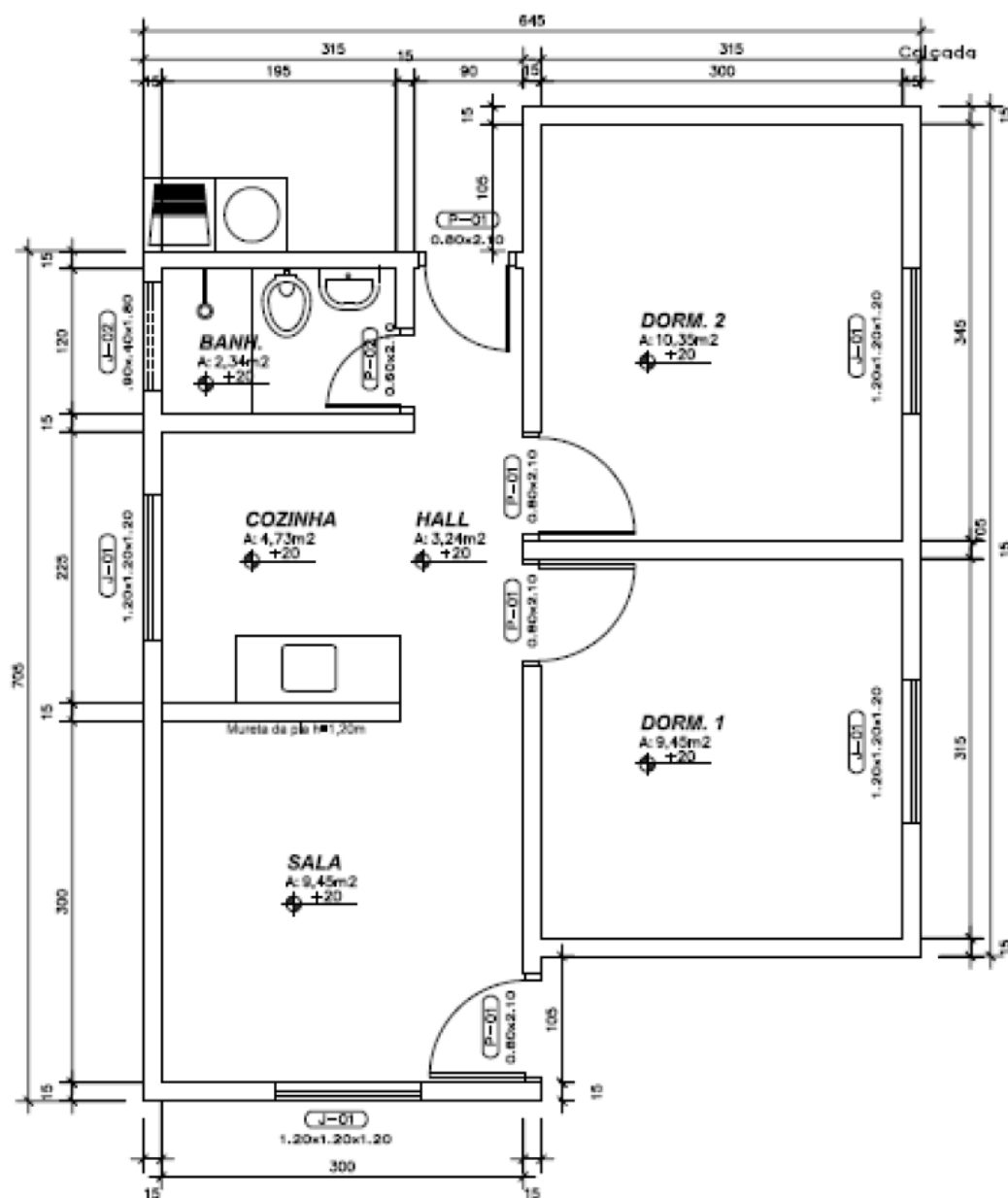


Figura D.1: Planta baixa do projeto básico de 45,64 m² (PEDROSO, 2015)



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura D.2: Fachadas da habitação. a) Fachada principal; b) Fachada posterior; c) fachada lateral direita; d) Fachada lateral esquerda (Pedroso, 2015)

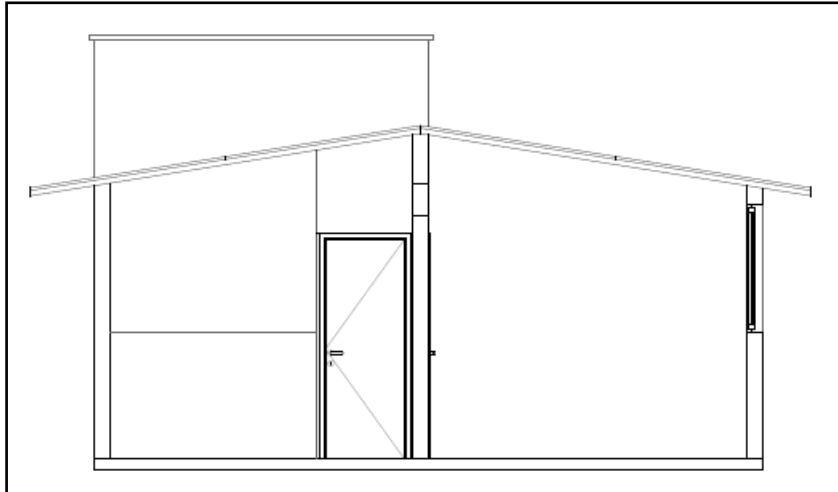


Figura D.3 – Corte cenário TTSF (Autor)

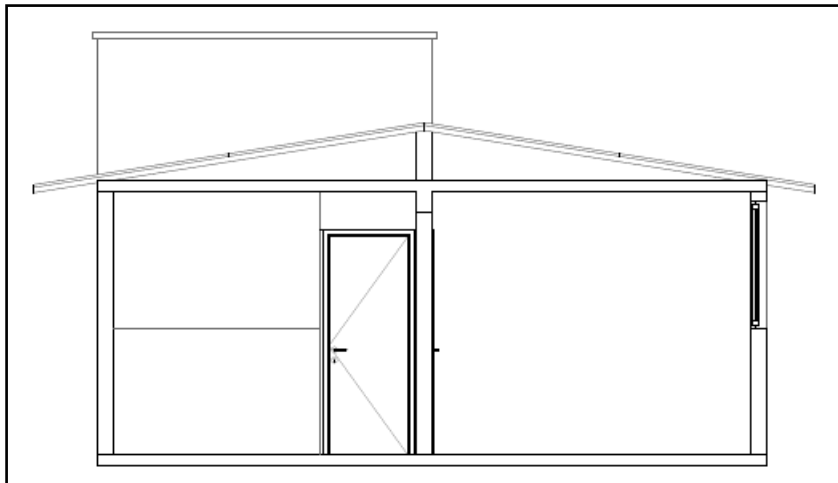


Figura D.4 – Corte cenário TTCF (Autor)

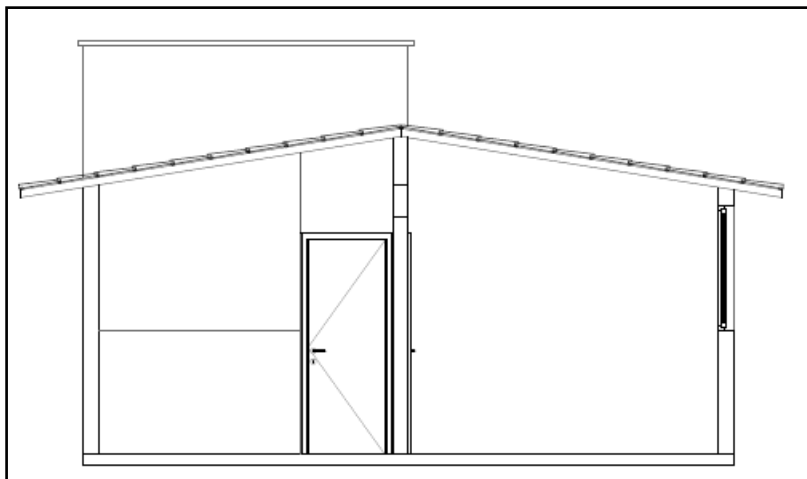


Figura D.5 – Corte cenário TCSF (Autor)

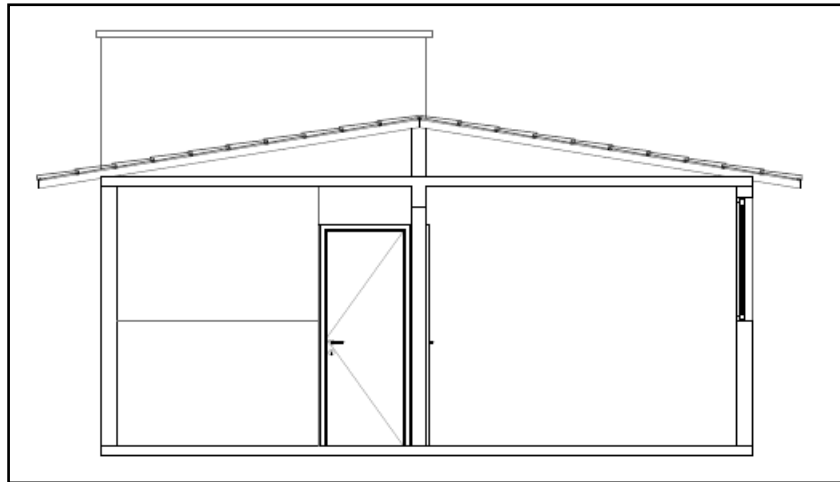


Figura D.6 – Corte do cenário TCCF (Autor)

APÊNDICE E – DADOS DO FABRICANTE DA TELHA TERMOACÚSTICA

Questionário para os fornecedores - Simplificado

1. Características das telhas termoacústicas com poliestireno expandido:

- 1.1 Dados gerais: As telhas termoacústicas em EPS (Poliestireno expandido) são ecologicamente corretas pois 100% do material é reciclável e não agride o meio ambiente.
- Dimensões: largura útil de recobrimento sempre 1000mm
 - a. Espessura de aço pre-pintado ou Zinalume :0,43mm ou 0,5mm
 - b. Filme de alumínio stucco pintado: espessura 38micras
 - c. Espessura do isolante térmico EPS : 20, 30, 50, até 150mm
 - Principais componentes (exemplo: aço, poliestireno, filme de alumínio, zinco, etc)
- 1.2 Quanto de cada componente principal é gasto para a produção por unidade de telha? (exemplo: 1 kg de aço, 1,5 Kg de poliuretano, etc)
- O consumo de aço: 4kg aço/m² de produto acabado por face;
 - Adesivo 90 gramas de adesivo poliuretano por metro acabado de produto acabado;
 - Filme de alumínio 130gramas/m² de produto acabado.
 - Poliestireno EPS é por m³ pois você tem 1000mm largura x espessura que pode variar de acordo com o isolamento requerido.
 - Porém é vendido em KG
 - Densidade do EPS: 14,5kg/m³
- 1.3 Peso de cada telha:
- Peso por exemplo de aço 4 + 4 kg/m² = 8kg /m² de produto acabado;
 - EPS exemplo telha 30mm: 0,03m x 1,0m x 1,0m =0,03m³/m² de telha
 - EPS exemplo telha 30mm: 0,03m³/m² de telha X 14,5kg/m³= 0,435kg/m² de telha de 30mm

2. Produção das telhas

2.1 Distância de transporte interno (total da movimentação interna: entre a produção e estocagem e estocagem e despacho)

(x) 100 m a 500 m

() 500 m a 1000 m

() 1000 m a 3000 m

2.2 Que tipo de veículo é utilizado para transporte interno qual o volume de carga do veículo (em m³ ou tonelada)?

() Caminhão

Outro: _____

Capacidade: médio 1200m²

2.3 Dados sobre equipamentos para produção da telha:

Tipo de equipamento	Potência do equipamento	Tipo de combustível (energia, óleo, carvão, etc)	Horas de funcionamento/dia
Laminador contínuo de fabricação de painéis	100KW	eletrico	20hs

2.4 Quantidade de telhas com EPS produzidas/dia (ou mês), incluindo perdas (em unidade):
(Favor indicar se a produção é por dia, mês ou outro)

Velocidade produção: 7,0m/min sendo 20hs/dia e 5dias/semana

3. Fase de embalagem:

3.1 Dados dos equipamentos de embalagem:

Tipo de equipamento	Potência do equipamento	Tipo de combustível (energia, óleo, carvão, etc)	Horas de funcionamento/dia
Embaladeira orbital para produto acabado	10KW	eletrico	20hs

APÊNDICE F – COMPOSIÇÕES UTILIZADAS NA ENERGIA DE EXECUÇÃO

Tabela F.1 – Composição SINAPI nº 74.157/3 – Lançamento/aplicação manual de concreto em estruturas

74157/3	LANCAMENTO/APLICACAO MANUAL DE CONCRETO EM ESTRUTURAS	M3	
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,65
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	4,5
10485	VIBRADOR DE IMERSAO C/ MOTOR ELETRICO 2HP MONOFASICO QUALQUER DIAM C/ MANGOTE	H	0,3

Tabela F.2 - Composição SINAPI nº 73.990/1 – Armação Aço CA-50

73990/1	ARMACAO ACO CA-50 P/1,0M3 DE CONCRETO	UN	
88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	7
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	7
27	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	55
33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	22
337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	2,5

Tabela F.3 - Composição SINAPI nº 74.199/1 – Chapisco do teto

74199/1	CHAPISCO RUSTICO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA), ESPESSURA 2CM, PREPARO MANUAL DA ARGAMASSA	M2	
87377	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA) PARA CHAPISCO CONVENCIONAL, PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M3	0,02
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6

Tabela F.4 - Composição SINAPI nº 8.7377 – Argamassa traço 1:3

87377	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA) PARA CHAPISCO CONVENCIONAL, PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M3	
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	10,89
367	AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (SEM FRETE)	M3	1,05
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	401,09

Tabela F.5 - Composição SINAPI nº 75.481 – Reboco

75481	REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:2 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL DA ARGAMASSA	M2	
6022	ARGAMASSA TRACO 1:2 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), PREPARO MANUAL	M3	0,005
88242	AJUDANTE DE PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,33
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,5

Tabela F.6 - Composição SINAPI nº6.022 – Argamassa 1:2 do Reboco

6022	ARGAMASSA TRACO 1:2 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), PREPARO MANUAL	M3	
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	19,4738
366	AREIA FINA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (SEM FRETE)	M3	1,243
1106	CAL HIDRATADA CH-I PARA ARGAMASSAS	KG	291

Tabela F.7 - Composição SINAPI nº 88.496 – Emassamento do teto

88496	APLICAÇÃO E LIXAMENTO DE MASSA LÁTEX EM TETO, DUAS DEMÃOS. AF_06/2014	M2	
88310	PINTOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,672
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,247
3767	LIXA EM FOLHA PARA PAREDE OU MADEIRA, NUMERO 120 (COR VERMELHA)	UM	0,06
4051	MASSA CORRIDA PVA PARA PAREDES INTERNAS	18L	0,0489

Tabela F.8 - Composição SINAPI nº 88.486 – Pintura do teto

88486	APLICAÇÃO MANUAL DE PINTURA COM TINTA LÁTEX PVA EM TETO, DUAS DEMÃOS. AF_06/2014	M2	
88310	PINTOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,17
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,062
7345	TINTA LATEX PVA PREMIUM, COR BRANCA	L	0,33

Tabela F.9 - Composição SINAPI nº 73.931/3 – Estrutura de madeira para telha cerâmica

73931/3	ESTRUTURA EM MADEIRA APARELHADA, PARA TELHA CERAMICA, APOIADA EM PAREDE	M2	
88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1
88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1
3989	MADEIRA LEI NATIVA/REGIONAL SERRADA APARELHADA	M3	0,018
5061	PREGO POLIDO COM CABECA 18 X 27	KG	0,2

Tabela F.10 - Composição PINI nº TCPO 09.005.00011.SER – Estrutura de madeira para telha termoacústica

COMPONENTE	UNID	CONSUMO
AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,77
CARPINTEIRO DE FORMA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,77
MADEIRA PEROBA	M3	0,03
CHAPA DE FERRO TIPO EMENDA P/ TELHADOS (LARGURA: 4”/ PESO: 0,57 Kg / COMPRIMENTO: 500 mm / ESPESSURA: ¼”	KG	0,41
PREGO COM CABEÇA 18x27 (DIÂMETRO: 3,4 mm/ COMPRIMENTO: 6,21 mm)	KG	0,18

Tabela F.11 - Composição SINAPI nº 73938/2 – Cobertura com telha cerâmica

73938/2	COBERTURA EM TELHA CERAMICA TIPO PLAN, EXCLUINDO MADEIRAMENTO	M2	
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,5
88323	TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,75
11088	TELHA CERAMICA TIPO PLAN, COMPRIMENTO DE *47* CM, RENDIMENTO DE *26* TELHAS/M2	UN	26

Tabela F.12 - Composição PINI nº TCPO 09.005.00011.SER – Cobertura com telha termoacústica

COMPONENTE	UNID	CONSUMO
AJUDANTE DE TELHADISTA	H	0,2200
TELHADISTA	H	0,2200
MASSA PARA CALAFETAÇÃO	KG	0,0040
PARAFUSO COM ROSCA SOBERBA GALVANIZADO DIÂMETRO NIMINAL 8MM/ COMPRIMENTO 110MM	UNID	0,8200

APÊNDICE G – ROTEIRO E DADOS DO DESIGN BUILDER

Após a definição do modelo arquitetônico foi efetuada a modelagem no DesignBuilder (DB), com a inserção dos seguintes dados: planta baixa completa, incluindo pé direito, esquadrias internas e externas, tipo de cobertura e demais dados de arquitetura; dados de localização (latitude e longitude), tendo sido adotada a maior incidência do sol nos ambientes de permanência prolongada, conforme definido na ABNT NBR 15.575:2013; taxa de ocupação; taxa de renovação do ar conforme definido na ABNT NBR 15.575:2013; os dados climáticos, exportados da tabela do Labeee/UFSC.

São inseridos também os dados dos materiais construtivos usados, bem como os dados de densidade, condutividade, calor específico, tendo sido adotados os coeficientes da ABNT NBR 15.220:2003.

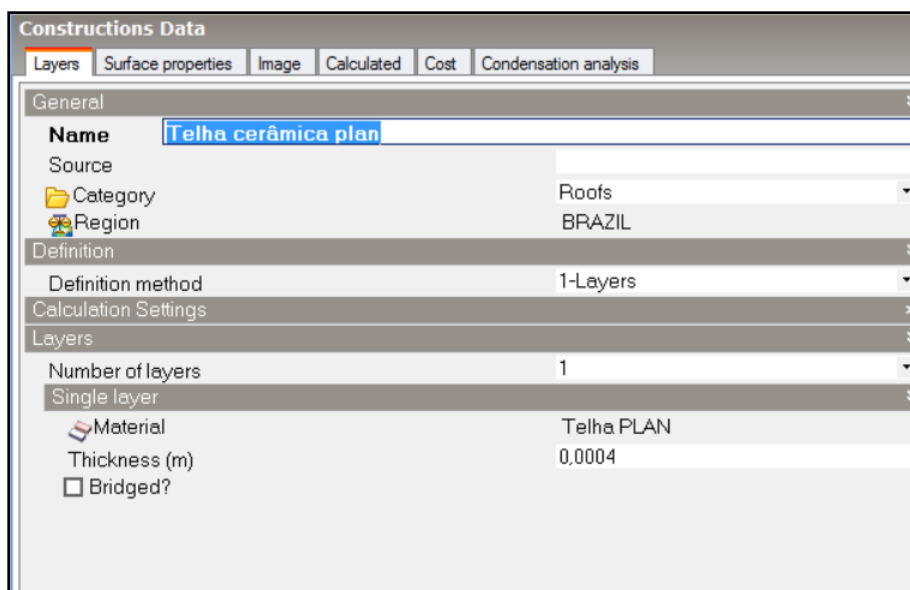


Figura G.1 – DB - Dados da telha cerâmica

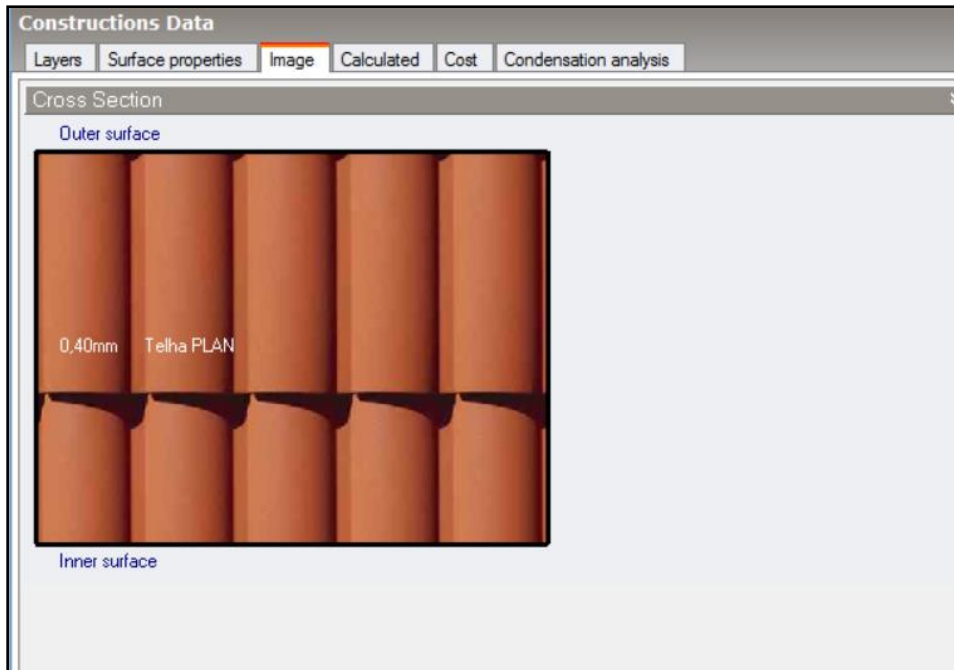


Figura G.2 – DB - Dados de imagem da telha cerâmica

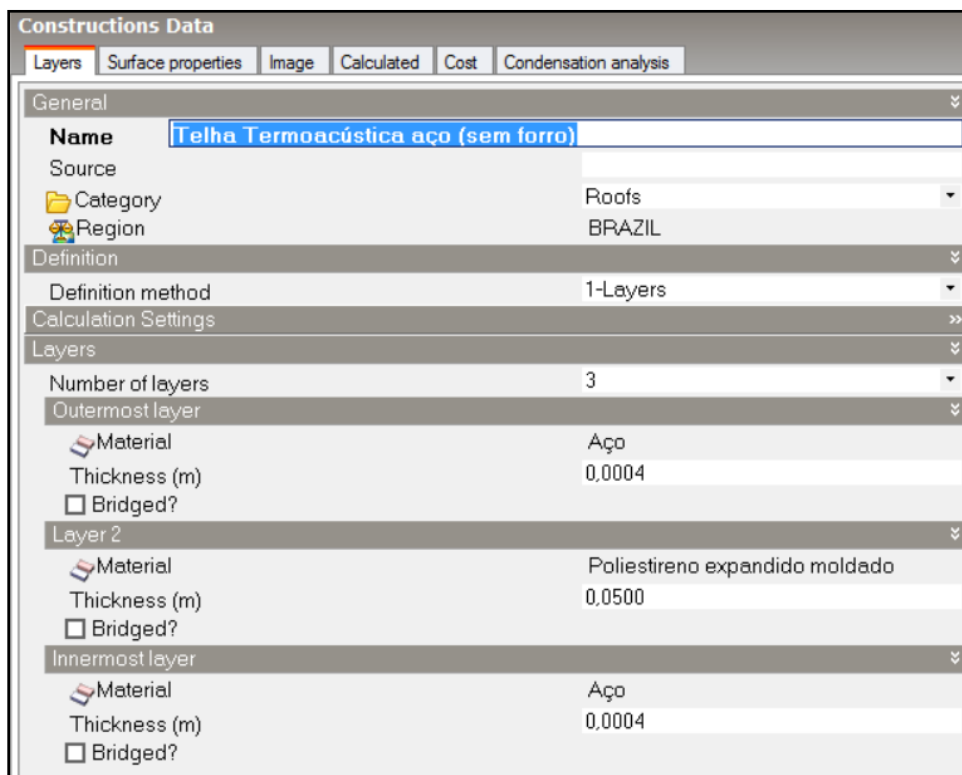


Figura G.3 – DB - Dados da telha termoacústica

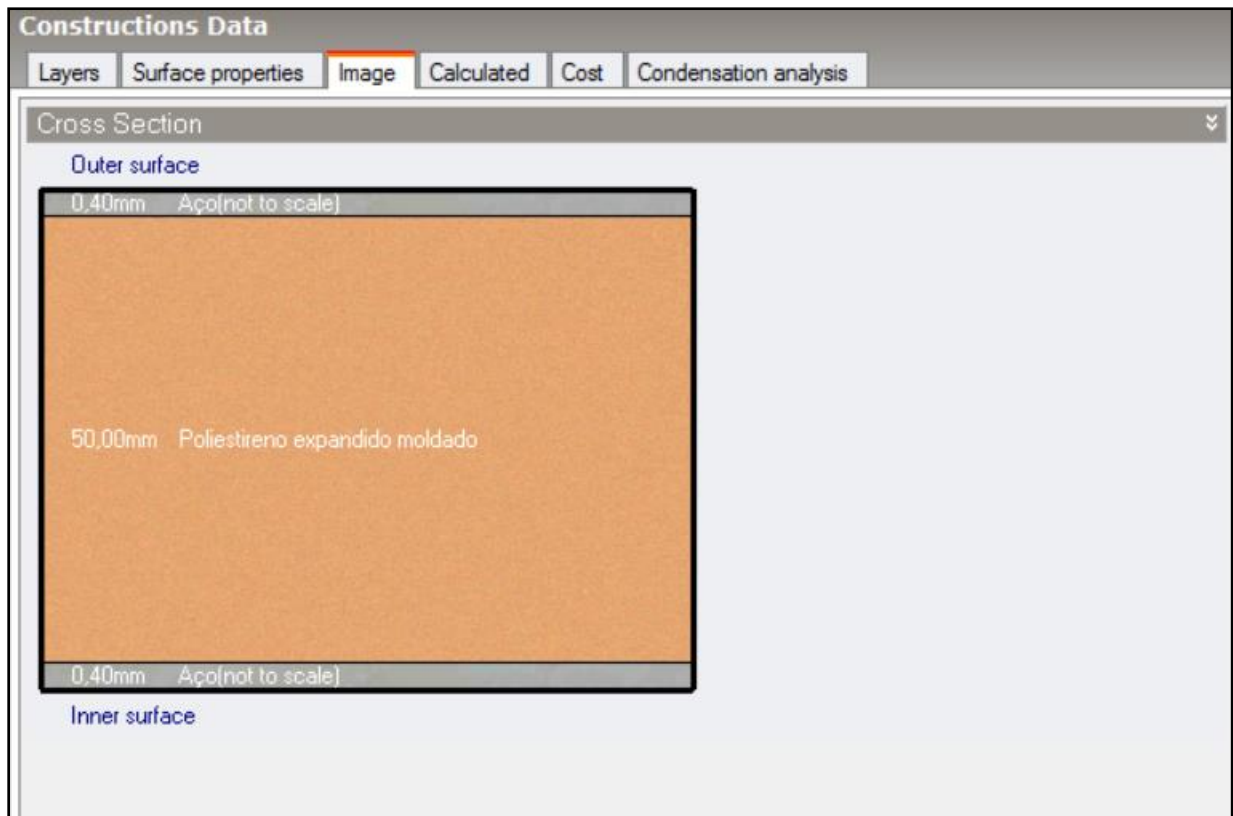


Figura G.4 – DB - Dados de imagem da telha termoacústica

Em cada ambiente, foram considerados os pontos de consumo de energia e equipamentos definidos com base no Relatório IBGE, 2012, conforme exposto na metodologia, considerando os seguintes horários predominantes de uso:

- Segunda à Sexta-feira - 6:00 às 8:00 e 18:00 às 22:00
- Sábado e Domingo - 6:00 às 6:00 (constante)

Visando destacar a diferença de consumo energético de cada cenário, foi inserido na aba HVAC, o aparelho Split.

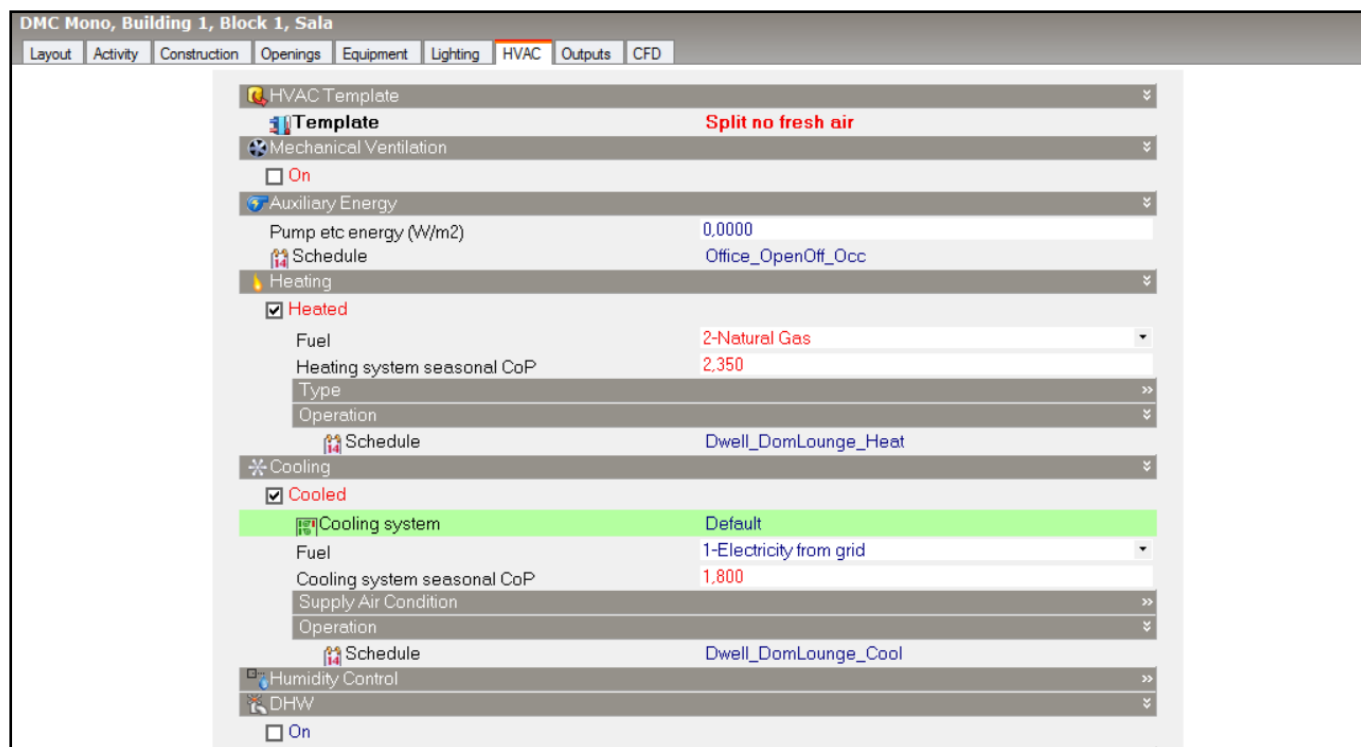


Figura G.5 – Dados do Split inseridos na aba HVAC (Autor extraído do DB)

Inseridos todos os dados, é utilizada a aba simulação para obter gráficos de energia e temperatura e os relatórios com os dados de consumo energético de uso da edificação.

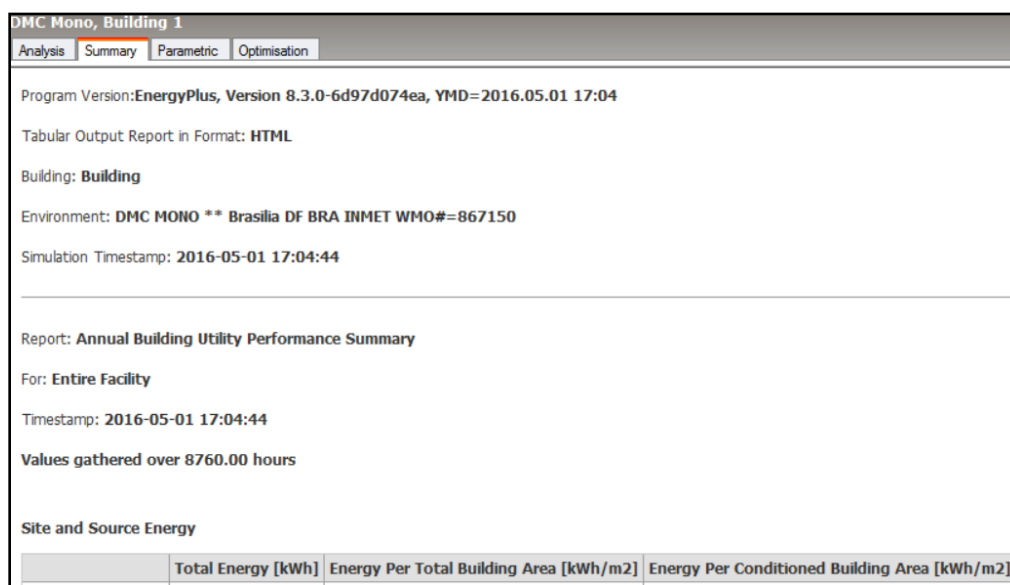


Figura G.6 – Relatório de dados gerado pelo DB

APÊNDICE H – PLANILHAS DE CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA DOS MATERIAIS

Tabela H.1 – Energia incorporada Cenário I – TTSF (Autor)

Material	Quant/m ²	Unid	Densid. (Kg/m ³)	Quant. (Kg/m ²)	Fator de Perdas	Quant. c/ perdas (Kg/m ²)	EIm (MJ/Kg)	EI (MJ/m ²)	Referência dos dados de energia
Telha									
Chapa de aço	0,00	m ³	7.850,00	3,38	1,19	4,00	33,80	135,20	Tavares (2006)
Poliestireno Expandido	0,05	m ³	55,00	2,75	-	-	112,00	308,00	Tavares (2006)
Chapa de Aço	0,00	m ³	7.850,00	3,38	1,19	4,00	33,80	135,20	Tavares (2006)
Fabricação da telha *								170,00	Fabricante
Estrutura do telhado									
Madeira Peroba	0,03	m ³	600,00	18,00	-	-	3,50	63,00	Tavares (2006)
Chapa de ferro tipo emenda para telhados (largura 4", peso 0,57 Kg, comprimento 500 mm, espessura 1/4")	0,41	Kg	-	-	-	-	32,80	13,45	Tavares (2006)
Prego de cabeça 18x27 (diâmetro 3,40 mm e comprimento 62,1 mm)	0,18	Kg	-	-	-	-	31,00	5,58	Tavares (2006)
Total - Cenário I								830,43	

Observações:

Telha: dados fornecidos pelo fabricante.

Estrutura de madeira: composição PINI: 09.003_SER.

Fabricação das telhas *: calculado com base nos dados do fornecedor no raio de 200 km do local da edificação e informações sobre equipamentos e capacidade de produção coletados no ambiente *Web*. O autor dessa pesquisa destaca a necessidade de um inventário detalhado desse produto, para referendar esse dado.

Tabela H.2 – Energia Incorporada Cenário II – TTCF (Autor)

Material	Quant/m ²	Unid	Densid. (Kg/m ³)	Quant. (Kg/m ²)	Fator de Perdas	Quant. c/ perdas (Kg/m ²)	EIm (MJ/Kg)	EI (MJ/m ²)	Referência dos dados de energia
Telha									
Chapa de aço	0,00	m ³	7.850,00	3,38	1,19	4,00	33,80	135,20	Tavares (2006)
Poliestireno Expandido	0,05	m ³	55,00	2,75	1,00	2,75	112,00	308,00	Tavares (2006)
Filme de Alumínio	0,11	Kg	-	-	-	-	210,00	22,68	Tavares (2006)
Fabricação da telha *								170,00	Fabricante
Estrutura do telhado									
Madeira Peroba	0,03	m ³	600,00	18,00	-	-	3,50	63,00	Tavares (2006)
Chapa de ferro tipo emenda p/ telhados (largura 4", peso 0,57 Kg, comprim. 500 mm, espess. 1/4")	0,41	Kg	-	-	-	-	32,80	13,45	Tavares (2006)
Prego de cabeça 18x27 (diâmetro 3,40 mm e comprim. 62,1 mm)	0,18	Kg	-	-	-	-	31,00	5,58	Tavares (2006)
Laje de forro									
Concreto armado	0,10	m ³	2.300,00	230,00	-	-	3,10	713,00	Tavares (2006)
Revestimento da laje de forro									
Chapisco									
Areia Grossa	0,01	m ³	1.500,00	7,88	-	-	0,05	0,39	Tavares (2006)
Cimento Portland	2,01	Kg	-	-	-	-	4,20	8,42	Tavares (2006)
Reboco									
Areia Fina	0,02	m ³	1.500,00	37,29	-	-	0,05	1,86	Tavares (2006)
Cal Hidratada	5,82	Kg	-	-	-	-	3,00	17,46	Tavares (2006)
Pintura da laje de forro									
Massa PVA	0,88	L	1,70	1,50	-	-	65,00	97,42	Tavares (2006)
Tinta PVA	0,33	L	1,30	0,43	-	-	65,00	27,89	Tavares (2006)
Total - Cenário II								1.584,35	

Observações:

Telha: dados fornecidos pelo fabricante.

Revestimento: composições SINAPI nº 74199/1 para chapisco e 75481 para reboco.

Pintura: composições SINAPI nº 88496 para emassamento; e nº 88486 para pintura.

Estrutura de madeira: composição PINI: 09.003_SER

Fabricação das telhas *: calculado com base nos dados do fornecedor no raio de 200 km do local da edificação e informações sobre equipamentos e capacidade de produção coletados no ambiente *Web*. O autor dessa pesquisa destaca a necessidade de um inventário detalhado desse produto. para referendar esse dado.

Tabela H.3 – Cenário III – TCSF (Autor)

Material	Quant/m ²	Unid	Densid. (Kg/m ³)	Quant. (Kg/m ²)	Fator de Perdas	Quant. c/ perdas (Kg/m ²)	EIm (MJ/Kg)	EI (MJ/m ²)	Referência dos dados de energia
Telha									
Telha cerâmica	62,40	Kg	-	-	-	-	5,40	336,96	Tavares (2006)
Estrutura do telhado									
Madeira Lei Nativa/Regional serrada aparelhada	0,02	m3	600,00	10,80	1,00	10,80	3,50	37,80	Tavares (2006)
Prego polido com cabeça 18 X 27	0,20	Kg	-	-	-	-	31,00	6,20	Tavares (2006)
Total - Cenário III								380,96	

Observações:

Telha: calculado com base na quantidade definida na composição SINAPI 73938/2 e peso por peça do relatório da Quantis para Anicer. Cálculo: 26 unidades x 2,4Kg/peça

Estrutura de madeira: composição SINAPI nº 73931/3

Tabela H.4 – Cenário IV – TCCF (Autor)

Material	Quant/m ²	Unid	Densid. (Kg/m ³)	Quant. (Kg/m ²)	Fator de Perdas	Quant. c/ perdas (Kg/m ²)	EIm (MJ/Kg)	EI (MJ/m ²)	Referência dos dados de energia
Telha									
Telha cerâmica	62,40	Kg	-	-	-	-	5,40	336,96	Tavares (2006)
Estrutura do telhado									
Madeira Lei Nativa/Regional	0,02	m3	600,00	10,80	-	-	3,50	37,80	Tavares (2006)
Prego polido com cabeça 18 X 27	0,20	Kg	-	-	-	-	31,00	6,20	Tavares (2006)
Laje de forro									
Concreto armado	0,10	m3	2.300,00	230,00	-	-	3,10	713,00	Tavares (2006)
Revestimento da laje de forro									
Chapisco									
Areia Grossa	0,01	m3	1.515,00	7,95	-	-	0,05	0,40	Tavares (2006)
Cimento Portland	2,01	Kg	-	-	-	-	4,20	8,42	Tavares (2006)
Reboco de Teto									
Areia Fina	0,02	m3	1.515,00	37,66	-	-	0,05	1,88	Tavares (2006)
Cal Hidratada	5,82	Kg	-	-	-	-	3,00	17,46	Tavares (2006)
Pintura de Teto									
Massa PVA	0,88	L	1,70	1,50	-	-	65,00	97,42	Tavares (2006)
Tinta PVA	0,33	L	1,30	0,43	-	-	65,00	27,89	Tavares (2006)
Total - Cenário III								1.247,43	

Observações Gerais:

Observações:

Telha: calculado com base na quantidade definida na composição SINAPI 73938/2 e peso por peça do relatório da Quantis para Anicer. Cálculo: 26 unidades x 2,4Kg/peça.

Revestimento: composições SINAPI nº 74199/1 para chapisco e 75481 para reboco.

Pintura: composições SINAPI nº 88496 para emassamento; e nº 88486 para pintura.

Estrutura de madeira: composição SINAPI nº 73931/3

APÊNDICE I – PLANILHAS DE CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA DE TRANSPORTE

Tabela I.1– Energia Transporte Telhas (Autor)

Tipo de telha	Dist.^[1] (A)	Unid	Cidade de Origem	Ect (MJ/t.km) (B)	Peso de peças (t/m²) (C)	ET (MJ/m²) (AxBxC)
Telha Termoacústica aço/aço	181	Km	Anápolis/GO	0,48	0,01	0,8688
Telha Termoacústica aço/filme	181	Km	Anápolis/GO	0,48	0,0051	0,443088
Tela Cerâmica tipo Plan	195	Km	Média ^[1]	0,48	0,0624	5,84064

Observações:

Peso telha aço-aço: 10 Kg/m² - Fonte: Fabricante - Catálogo, pg. 07

Peso telha aço-filme: 5,1 Kg/m² - Fonte Fabricante - Catálogo, pg.7

Peso telha cerâmica: 2,4 Kg e 26 peças/m²

Cidade de Origem - Telha Cerâmica - [1] Foi adotada a média de diversos fabricantes em Unai/MG, Paracatu/MG, Goianésia/GO e Abadiânia/GO

Os fornecedores de telha cerâmica consultados situam-se nas seguintes cidades:

Unai – 166 Km

Paracatu – 235 Km

Abadiânia – 138 Km

Goianésia – 238 Km

Para todos os transportes foi adotado o consumo energético de 0,48 Mj/Km com base em Pedroso (2015), cuja tese foi desenvolvida para a mesma região do DF e mesmo tipo de edificação.

A distância entre o fornecedor da telha termoacústica e a região de São Sebastião é extraída do Google Maps, conforme Figura I.1 abaixo:

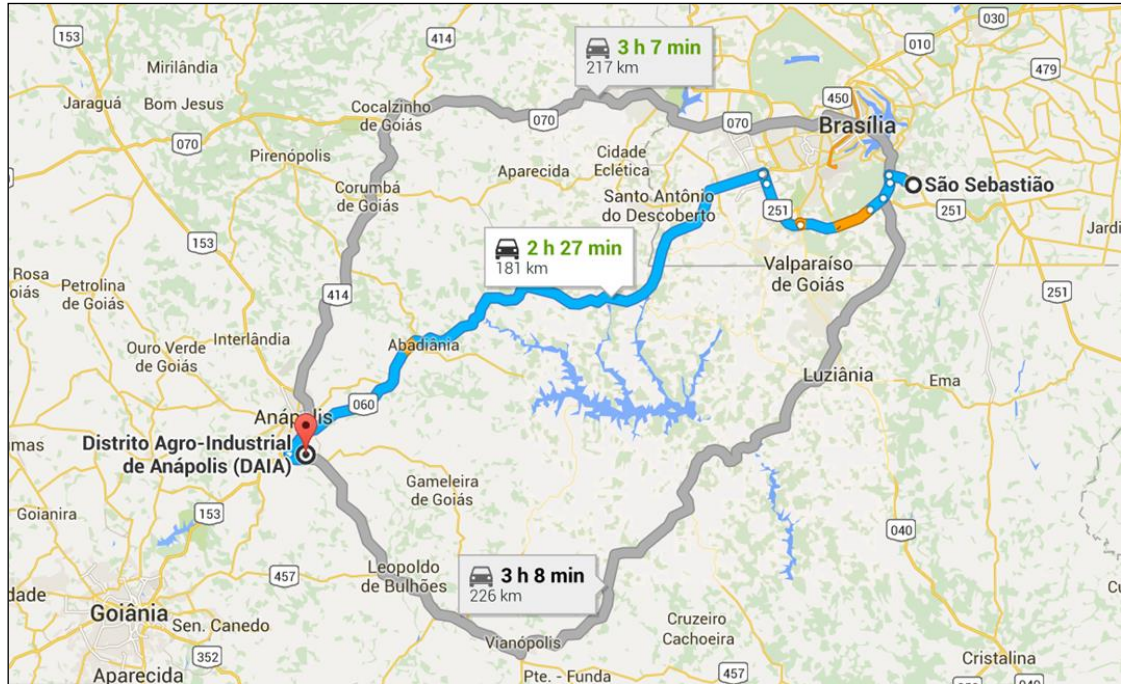


Figura.I.1 – Mapa da distância entre Anápolis (fornecedor da telha termoacústica) e São Sebastião (Google Maps)

Em função da similaridade das estruturas de telhado, a energia de transporte desse item é calculado separadamente para cada tipo de telha (Tabela I.2 a I.4):

Tabela I.2 – Energia de Transporte da estrutura do telhado das telhas termoacústicas (Autor)

Insumos	Dist. ^[1] (A)	Unid	Cidade de Origem	Ect (MJ/t.km) (B)	Peso de peças (t/m ²) (C)	ET (MJ/m ²) (AxBxC)
Estrutura do telhado						
Madeira Peroba	2482	Km	Santarém/PA	0,48	0,02	21,44
Chapa de ferro tipo emenda para telhados (largura 4", peso 0,57 Kg, comprimento 500 mm, espessura 1/4") ^[2]	1184	Km	Santa Cruz/RJ	0,48	0,00	0,23
Prego de cabeça 18x27 (diâmetro 3,40 mm e comprimento 62,1 mm)	1184	Km	Santa Cruz/RJ	0,48	0,00	0,10
Total Geral						21,78

[1] Foram adotadas as distâncias de Pedroso (2015), em função da similaridade de localização da edificação.

[2] Foi adotada a mesma distância de transporte do ferro por similaridade de fornecedor.

Tabela I.3 – Energia de transporte da estrutura do telhado da telha cerâmica Plan (Autor)

Insumos	Dist. ^[1] (A)	Unid	Cidade de Origem	Ect (MJ/t.km) (B)	Peso de peças (t/m2) (C)	ET (MJ/m2) (AxBxC)
Estrutura do telhado						
Madeira Lei Nativa/Regional serrada aparelhada	2.482,00	Km	Santarém/PA	0,48	0,01	12,87
Prego polido com cabeça 18 X 27	1.184,00	Km	Santa Cruz/RJ	0,48	0,00	0,11
Total Geral						12,98

[1] Foram adotadas as distâncias de Pedroso (2015), em função da similaridade de localização da edificação.

Os fornecedores de aço consultados, cuja distância foi considerada no cálculo do transporte da Tabela A-8, situam-se nas seguintes cidades:

Barão de Cocais – 803 Km

Contagem – 699 Km

Divinópolis – 727 Km

Ouro Branco – 801 Km

Tabela I.4 – Energia de Transporte dos demais insumos para cenários com Laje de forro
(Autor)

Insumos	Dist. ^[1] (A)	Unid	Cidade de Origem	Ect (MJ/t.km) (B)	Peso de peças (t/m ²) (C)	ET (MJ/m ²) (AxBxC)
Concreto						
Concreto ^[2]	23,00	Km	Brasília/DF	0,48	0,23	2,54
Aço ^[3]	757,50	Km	Minas Gerais ^[3]	0,48	0,01	3,64
Chapisco						
Areia Grossa	261,00	Km	Pires do Rio/GO	0,48	0,01	1,00
Cimento Portland	33,00	Km	Sobradinho/DF	0,48	0,00	0,03
Reboco						
Areia Fina	261,00	Km	Pires do Rio/GO	0,48	0,04	4,72
Cal Hidratada	686,00	Km	Ribeirão Preto/SP	0,48	0,01	1,92
Pintura						
Massa Pva	997,00	Km	São Paulo/SP	0,48	0,00	0,72
Tinta PVA	997,00	Km	São Paulo/SP	0,48	0,00	0,21
Total Geral						14,76

[1] Foram adotadas as distâncias de Pedroso (2015), em função da similaridade de localização da edificação, exceto o concreto

[2] Foi adotada a distância de São Sebastião até o Plano Piloto, disponível no site <http://www.saosebastiao.df.gov.br/> visitado em 08.01.2016

[3] Considerada uma taxa de 100 Kg de aço/m³ de concreto. A distância adotada é resultado da média das localizações das unidades Arcelor Mittal e Gerdau

APÊNDICE J – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE EXECUÇÃO

No caso específico da instalação das telhas termoacústicas é utilizada a composição PINI TCPO 09.005.000011.SER, conforme apresentado na Tabela A-20.

Tabela J.1 – Energia de execução telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme) (Autor)

Componente	Unid	Consumo/ m ²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Ajudante de telhadista	h	0,22	1,64	0,36	Pedroso (2015)
Telhadista	h	0,22	1,64	0,36	Pedroso (2015)
TOTAL				0,72	

Obs.: não estão inclusos: andaimes ou equipamentos auxiliares , equipamentos de proteção ou segurança; estrutura de cobertura

No tocante a telha cerâmica, são utilizadas duas composições: PINI TCPO 09.005.SER e SINAPI nº 73938/2 (ver Tabelas J.2 e J.3), sendo que a primeira resulta numa energia de 1,23 MJ/m² e a segunda, 3,69 MJ/m². Esse trabalho adota o valor da composição do SINAPI por ser referência para orçamentos públicos, mantendo também a coerência na seleção com a maioria das composições utilizadas.

Tabela J.2: Energia de execução de telhas cerâmicas tipo Plan Composição PINI TCPO 09.005.SER - TELHA CERÂMICA - unidade m² (Autor)

Componente	Unid	Consumo	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia Incorporada Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Ajudante de telhadista	h	0,5	1,64	0,82	Pedroso, 2015
Telhadista	h	0,25	1,64	0,41	Pedroso, 2015
TOTAL				1,23	

Obs.: não estão inclusos: andaimes ou equipamentos auxiliares , equipamentos de proteção ou segurança; estrutura de cobertura

Tabela J.3: Energia de execução de telhas cerâmicas tipo Plan Composição SINAPI COBE
73938/2 (Autor)

Componente	Unid	Consumo/ m ²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Ajudante de telhadista	h	1,50	1,64	2,46	Pedroso, 2015
Telhadista	h	0,75	1,64	1,23	Pedroso, 2015
TOTAL				3,69	

Para o cálculo da estrutura de apoio das telhas, a energia é de 5,81 MJ/m² para as telhas termoacústicas (aço/aço e aço/filme) e 3,28 MJ/m² para telha cerâmica tipo Plan (Tabelas J.4 e J.5).

Tabela J.4: Energia de execução da estrutura para apoio das telhas termoacústicas (Autor)

Componente	Unid	Consumo	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia Incorporada Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Ajudante de carpinteiro com	h	1,77	1,64	2,90	Pedroso, 2015
Carpinteiro de formas com encargos	h	1,77	1,64	2,90	Pedroso, 2015
TOTAL				5,81	

A execução da laje de forro é composta de duas etapas: armação do aço e lançamento do concreto, visto que a execução do insumo concreto armado está considerada na energia incorporada. O gasto energético da laje de forro é 162,08 MJ/m², conforme demonstrado na Tabela J.6.

Tabela J.5: Energia de execução da estrutura para apoio da telha cerâmica tipo Plan (Autor)

Componente	Unid	Consumo/ m ²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	1	1,64	1,64	Pedroso, 2015
Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	1	1,64	1,64	Pedroso, 2015
TOTAL				3,28	

Tabela J.6 – Energia Instalação da Laje de Forro (Autor)

Componente	Unid	Consumo/ m ²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m ²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Armação do Aço					
Armador com encargos complementares	h	0,70	1,64	1,15	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	h	0,70	1,64	1,15	Pedroso, 2015
Lançamento do concreto					
Pedreiro com encargos complementares	h	0,17	1,64	0,27	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	h	0,45	1,64	0,74	Pedroso, 2015
Vibrador de imersão c/ motor elétrico 2HP monofásico qualquer diam c/ mangote	h	0,03	-	161,08	Autor
TOTAL				162,08	

Observação:

Cálculo Energia Vibrador: 1HP é igual a $2,6846 \times 10^3$ MJ, logo = $0,03 \times 2 \times 2,6846 \times 1000$

A estrutura de apoio dos dois tipos de telhas termoacústicas é similar, visto que foi utilizada uma mesma composição-base.

O Chapisco de 5 mm, considerado nos cenários com laje de forro, é composto dos serviços de preparo da argamassa e a aplicação da massa, sendo que a energia demanda nesse serviço, excluindo materiais já computados na energia incorporada, é de 0,15 MJ/m² (Tabela J.7).

Tabela J.7 – Energia de Execução do Chapisco (Autor)

Chapisco rústico traço 1:3 (Cimento e areia grossa), espessura 5mm preparo manual da argamassa	Unid	Consumo/m²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Preparação da Argamassa					
Servente com encargos complementares	h	0,05	1,64	0,02	Pedroso, 2015
Aplicação do chapisco					
Pedreiro com encargos complementares	h	0,15	1,64	0,06	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	h	0,15	1,64	0,06	Pedroso, 2015
TOTAL				0,15	

O reboco também é composto dos serviços de preparo da argamassa e a aplicação da massa, excluindo os materiais já computados na energia incorporada, e a energia desse serviço é de 6,08 MJ/m² (Tabela J.8).

Tabela J.8 – Energia de Execução do Reboco (Autor)

Reboco argamassa traço 1:2 (cal e areia fina peneirada), espessura 2cm, preparo argamassa manual	Unid	Consumo/ m²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Preparação da Argamassa					
Servente com encargos complementares	h	0,39	1,64	0,64	Pedroso, 2015
Aplicação do reboco					
Ajudante de pedreiro com encargos complementares	h	1,32	1,64	2,16	Pedroso, 2015
Pedreiro com encargos complementares	h	2,00	1,64	3,28	Pedroso, 2015
TOTAL				6,08	

No caso da pintura, são somados os gastos energéticos para emassamento e aplicação da pintura (Tabela J.9), o que resulta em 1,89 MJ/m².

Tabela J.9 – Energia de Execução da Pintura (Autor)

Pintura	Unid	Consumo/ m²	Energia Incorporada (MJ/Unid)	Energia de Execução (MJ/m²)	Referência dos dados de consumo de Energia
Aplicação de massa					
Pintor com encargos complementares	h	0,67	1,64	1,10	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	h	0,25	1,64	0,41	Pedroso, 2015
Lixa em folha p/ parede ou madeira, nº 120 (cor vermelha)	Unid	0,06	Sem dados na bibliografia pesquisada	-	
Aplicação de tinta					
Pintor com encargos complementares	h	0,17	1,64	0,28	Pedroso, 2015
Servente com encargos complementares	h	0,06	1,64	0,10	Pedroso, 2015
TOTAL				1,89	

APÊNDICE K – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE USO

Conforme exposto na metodologia, o cálculo da Energia de Uso é realizado a partir da identificação dos equipamentos e eletrodomésticos usuais para a edificação habitacional em estudo. Inicialmente foram feitos os cálculos manuais, cujos valores estão nas tabelas K.1 a K.4

Tabela K.1 - Cenário I - Telha Termoacústica sem Laje de Forro (Autor)

Equipamento	Quant.	Unid.	Consumo mensal/unid de equipamento (KWh)	Consumo mensal/ equipamento (KWh)	Consumo anual (Kwh)	Consumo vida útil (KWh)
TV em cores 14"	1,00	Un	9,00	9,00	108,00	5.400,00
Geladeira 1 porta	1,00	Un	30,00	30,00	360,00	18.000,00
Liquidificador	1,00	Un	1,10	1,10	13,20	660,00
Iluminação (7 lâmpadas de 15W)	7,00	Un	15,40	107,80	1.293,60	64.680,00
Microcomputador	1,00	Un	10,80	10,80	129,60	6.480,00
Chuveiro	1,00	Un	70,00	70,00	840,00	42.000,00
Máquina de Lavar roupa	1,00	Un	6,00	6,00	72,00	3.600,00
Ferro elétrico automático	1,00	Un	7,20	7,20	86,40	4.320,00
Fogão simples	1,00	Un	0,15	0,15	1,80	90,00
Split					49,99	2.499,50
TOTAL					2.954,59	147.729,50

Tabela K.2 - Cenário II - Telha Termoacústica com Laje de Forro (Autor)

Equipamento	Quantidade	Unidade	Consumo mensal/ unid. de equipamento (KWh)	Consumo mensal/ equipamento (KWh)	Consumo anual (Kwh)	Consumo vida útil (KWh)
TV em cores 14"	1,00	Un	9,00	9,00	108,00	5.400,00
Geladeira 1 porta	1,00	Un	30,00	30,00	360,00	18.000,00
Liquidificador	1,00	Un	1,10	1,10	13,20	660,00
Iluminação (7 lâmpadas de 15W)	7,00	Un	15,40	107,80	1.293,60	64.680,00
Microcomputador	1,00	Un	10,80	10,80	129,60	6.480,00
Chuveiro	1,00	Un	70,00	70,00	840,00	42.000,00
Máquina de Lavar roupa	1,00	Un	6,00	6,00	72,00	3.600,00
Ferro elétrico automático	1,00	Un	7,20	7,20	86,40	4.320,00
Fogão simples	1,00	Un	0,15	0,15	1,80	90,00
Split					16,28	814,00
TOTAL TTCF					2.920,88	146.044,00

Tabela K.3 - Cenário III – Telha Cerâmica sem Laje de Forro (Autor)

Equipamento	Quant.	Unid.	Consumo mensal/unid de equipamento (KWh)	Consumo mensal/ equipamento (KWh)	Consumo anual (Kwh)	Consumo vida útil (KWh)
TV em cores 14"	1,00	Un	9,00	9,00	108,00	5.400,00
Geladeira 1 porta	1,00	Un	30,00	30,00	360,00	18.000,00
Liquidificador	1,00	Un	1,10	1,10	13,20	660,00
Iluminação (7 lâmpadas de 15W)	7,00	Un	15,40	107,80	1.293,60	64.680,00
Microcomputador	1,00	Un	10,80	10,80	129,60	6.480,00
Chuveiro	1,00	Un	70,00	70,00	840,00	42.000,00
Máquina de Lavar roupa	1,00	Un	6,00	6,00	72,00	3.600,00
Ferro elétrico automático	1,00	Un	7,20	7,20	86,40	4.320,00
Fogão simples	1,00	Un	0,15	0,15	1,80	90,00
Split					82,37	4.118,50
TOTAL TCSF					2.986,97	149.348,50

Tabela K.4 - Cenário IV – Telha Cerâmica com Laje de Forro (Autor)

Equipamento	Quant.	Unid.	Consumo mensal/unid de equipamento (KWh)	Consumo mensal/equipamento (KWh)	Consumo anual (Kwh)	Consumo vida útil (KWh)
TV em cores 14"	1,00	Un	9,00	9,00	108,00	5.400,00
Geladeira 1 porta	1,00	Un	30,00	30,00	360,00	18.000,00
Liquidificador	1,00	Un	1,10	1,10	13,20	660,00
Iluminação (7 lâmpadas de 15W)	7,00	Un	15,40	107,80	1.293,60	64.680,00
Microcomputador	1,00	Un	10,80	10,80	129,60	6.480,00
Chuveiro	1,00	Un	70,00	70,00	840,00	42.000,00
Máquina de Lavar roupa	1,00	Un	6,00	6,00	72,00	3.600,00
Ferro elétrico automático	1,00	Un	7,20	7,20	86,40	4.320,00
Fogão simples	1,00	Un	0,15	0,15	1,80	90,00
Split					17,93	896,50
TOTAL TCCF					2.922,53	146.126,50

Esses valores são comparados com os calculados pelo *software Design Builder*, cujos resultados estão na Tabela K.5.

Tabela K.5 – Energia de uso dos cenários calculada pelo *software Design Builder* (Autor)

CENÁRIO	ENERGIA DE USO (KWh) - Cálculo <i>Design Builder</i>	ENERGIA DE USO (KWh) - Cálculo Manual
Cenário I - TTSTF	2.751,82	2.954,59
Cenário II - TTCTF	2.671,32	2.920,88
Cenário III - TCSF	2.790,10	2.986,97
Cenário IV - TCCF	2.677,58	2.922,53

As variações entre os cálculos são inferiores a 9,4%, sendo que os valores menores são do *software DesignBuilder*, porém como essa última ferramenta calcula automaticamente períodos de conforto térmico para o acionamento do aparelho de condicionamento e demais equipamentos, são adotados os valores do DB para o cálculo da energia de uso durante a vida útil de 50 anos (ver Tabela K.6).

Tabela K.6 – Energia de Uso da edificação durante a vida útil (Autor)

CENÁRIO	Energia de Uso (KWh) - Cálculo <i>Design Builder</i>/ Ano	ENERGIA DE USO (KWh) - Cálculo <i>Design Builder</i>/ Vida Útil	ENERGIA DE USO/ VIDA ÚTIL (MJ)
Cenário I - TTSTF	2.751,82	137.591,00	495.252,49
Cenário II - TTCTF	2.671,32	133.566,00	480.764,69
Cenário III - TCSF	2.790,10	139.505,00	502.141,85
Cenário IV - TCCF	2.677,58	133.879,00	481.891,32

Observação: 1 MJ = 0,277819905 KWH

APÊNDICE L – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE MANUTENÇÃO

Tabela L.1 – Energia de reposição telhas durante a vida útil (Autor)

Cenário	Telhas			
	Vida Útil do material	Quantidade de reposições para vida útil de projeto	Energia Incorporada (MJ/m ²)	Energia Incorporada (MJ/m ²) subtotal
Cenário I - TTSTF	38,00	1,32	749,99	986,83
Cenário II - TTCTF	38,00	1,32	637,04	838,22
Cenário III - TCTSF	20,00	2,50	346,49	866,23
Cenário IV - TCTCF	20,00	2,50	346,49	866,23

Tabela L.2 – Energia de reposição pintura durante a vida útil (Autor)

Cenário	Pintura			
	Vida Útil do material	Quantidade de reposições para vida útil de projeto	Energia Incorporada (MJ/m ²)/VU	Energia Incorporada (MJ/m ²) subtotal
Cenário I - TTSTF				
Cenário II - TTCTF	4,00	12,50	128,11	1.601,40
Cenário III - TCTSF				
Cenário IV - TCTCF	4,00	12,50	128,11	1.601,40

Os valores utilizados para reposição de telha e pintura foram extraídos dos cálculos realizados anteriormente nessa pesquisa.

Tabela L.3 – Energia de reposição durante a vida útil (Autor)

Cenário	Telhas	Pintura	Energia Fase de Uso - Manutenção (MJ/m ²)
	Energia Incorporada (MJ/m ²) subtotal	Energia Incorporada (MJ/m ²) subtotal	
Cenário I - TTST	986,83		986,83
Cenário II - TTCT	838,22	1.601,40	2.439,61
Cenário III - TCTT	866,23		866,23
Cenário IV - TCTT	866,23	1.601,40	2.467,62

APÊNDICE M - GRÁFICOS DE TEMPERATURA DOS CENÁRIOS

Condição de Verão

A. TTSF

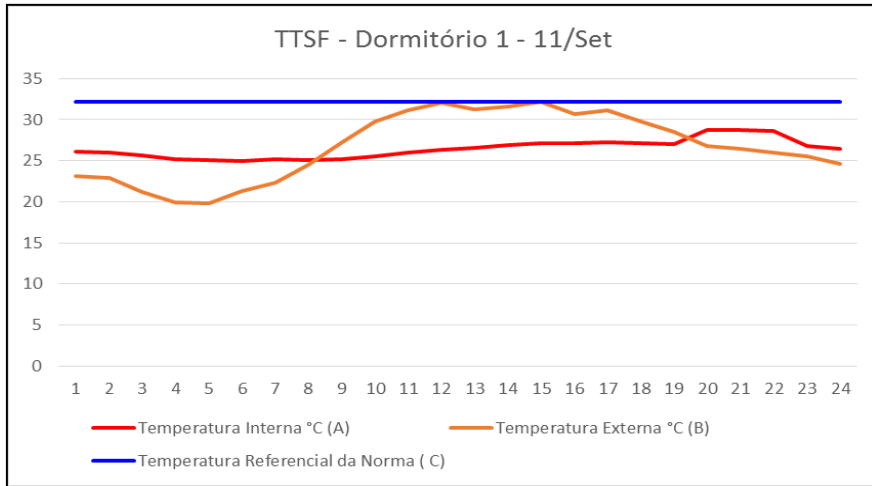


Figura M.1 - Condição dia típico de Verão -TTSF – Dormitório 1

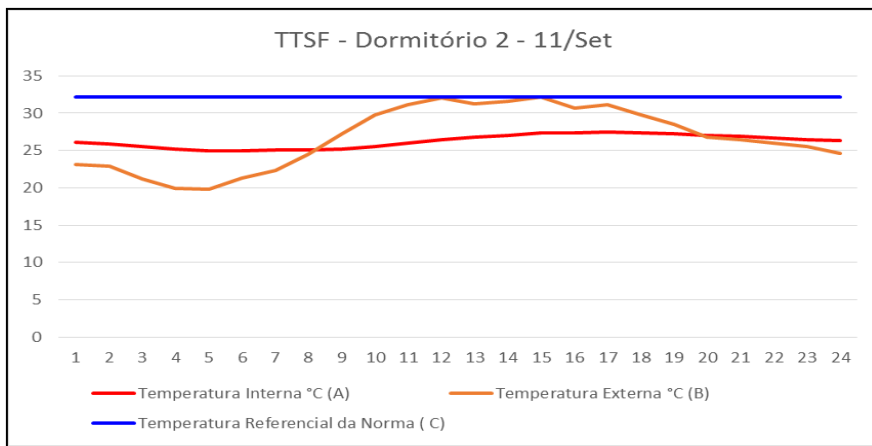


Figura M.2 - Condição dia típico de Verão - TTSF – Dormitório 2

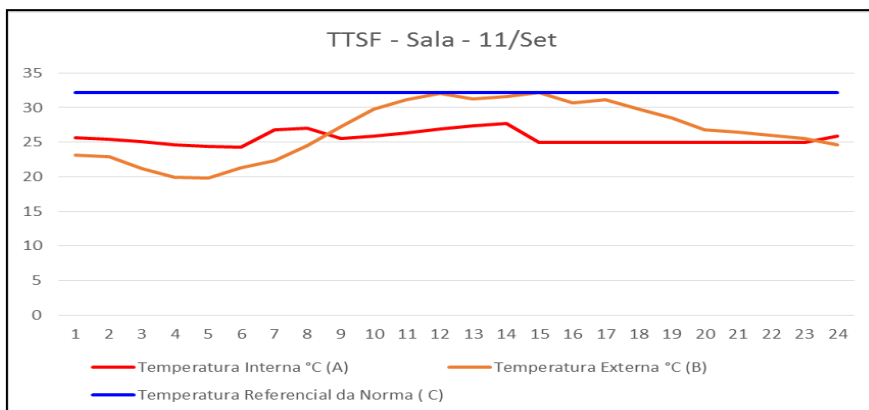


Figura M.3: Condição dia típico de Verão - TTSF – Sala

B. TTCF

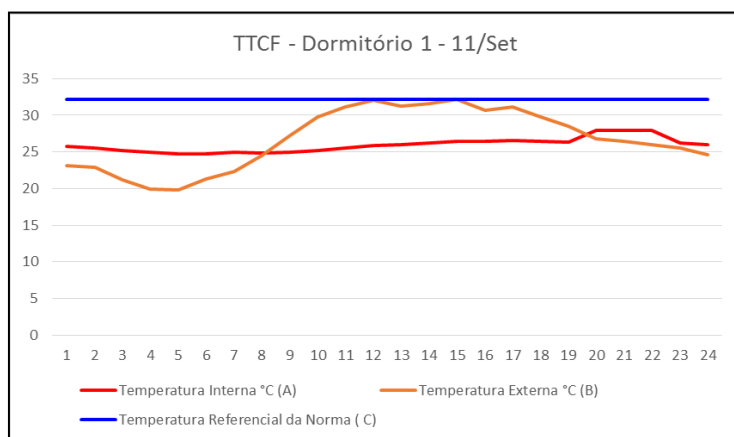


Figura M.4 - Temperatura Condição dia típico de Verão TTCF – Dormitório 1

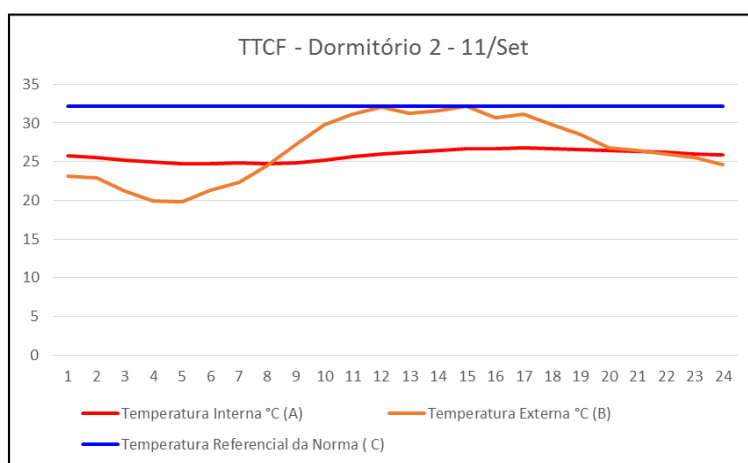


Figura M.5 – Temperatura Condição dia típico de Verão TTCF – Dormitório 2

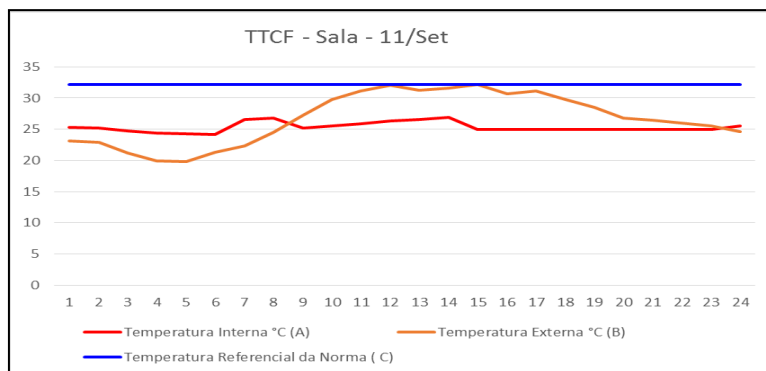


Figura M.6 – Temperatura Condição dia típico de Verão TTCF – Sala

C. TCSF

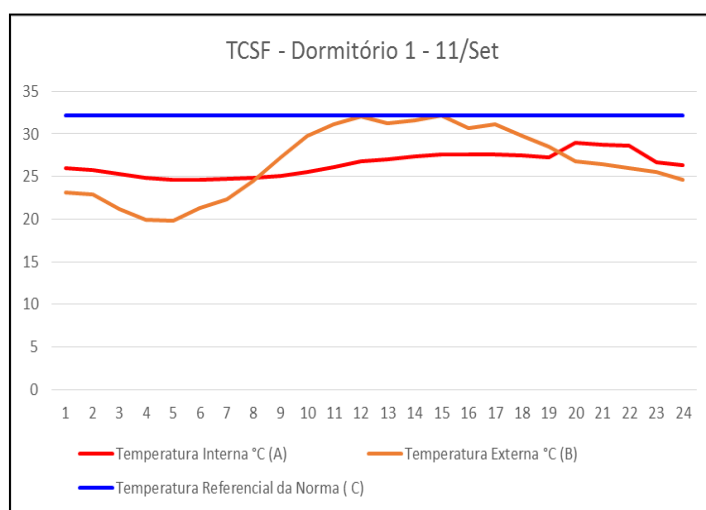


Figura M.7 - Temperatura Condição dia típico de Verão TCSF – Dormitório 1

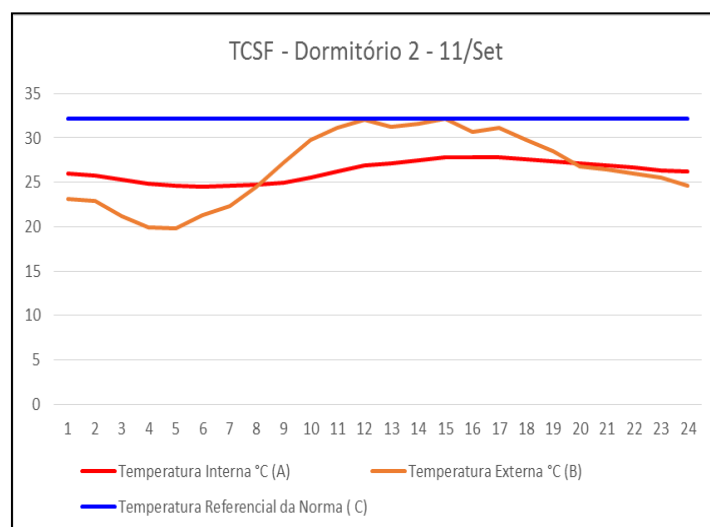


Figura M.8 - Temperatura Condição dia típico de Verão TCSF – Dormitório 2

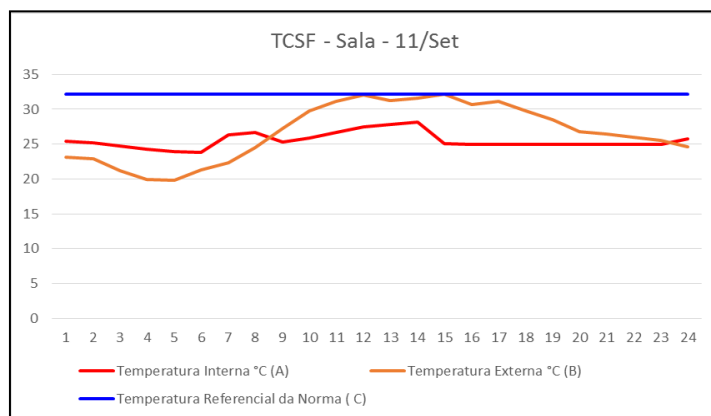


Figura M.9 - Temperatura Condição dia típico de Verão TCSF – Sala

D. TCCF

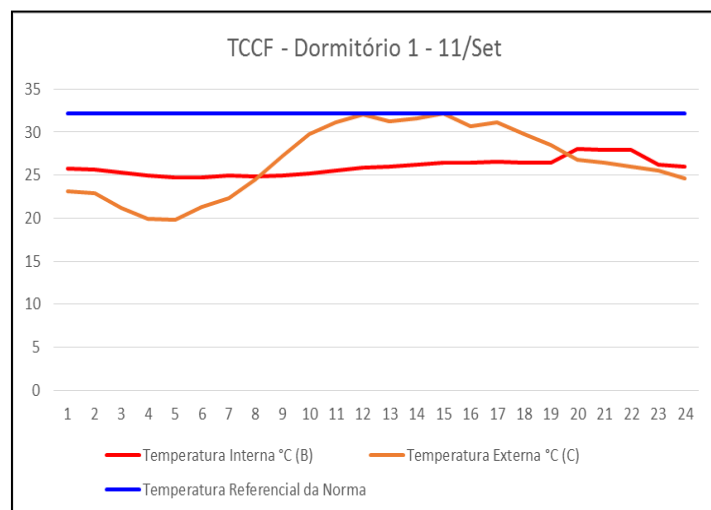


Figura M.10 – Temperatura Condição dia típico de Verão TCCF – Dormitório 1

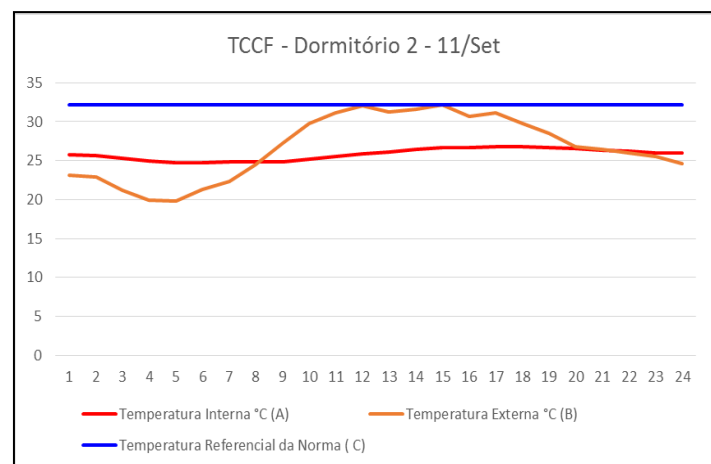


Figura M.11 – Temperatura Condição dia típico de Verão TCCF – Dormitório 2

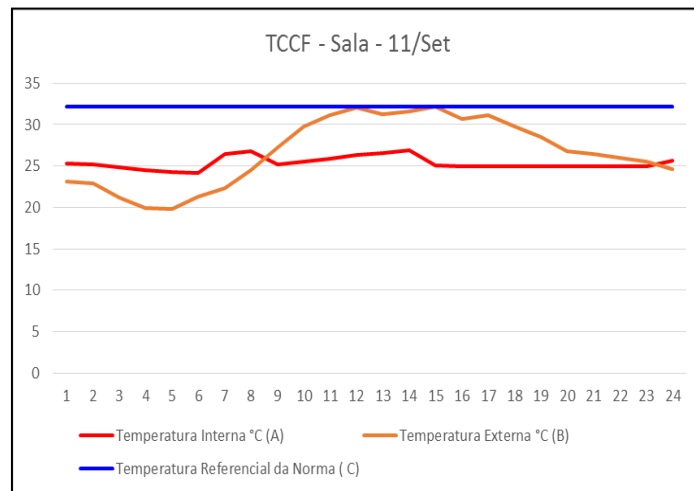


Figura M.12 – Temperatura Condição dia típico de Verão TCCF – Sala

Condição de Inverno

A. TTFSF

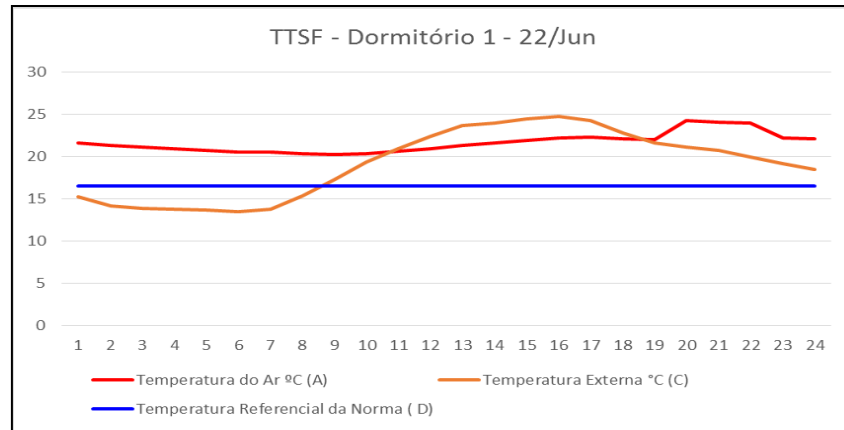


Figura M.13 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TTFSF – Dormitório 1

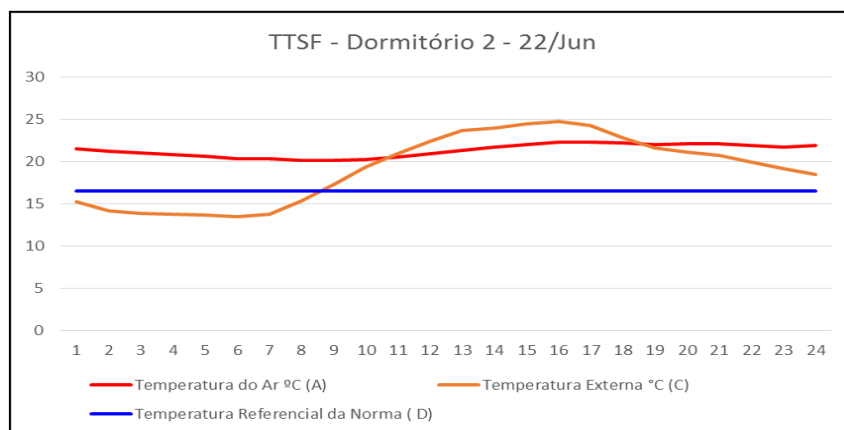


Figura M.14 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TTFSF – Dormitório 2

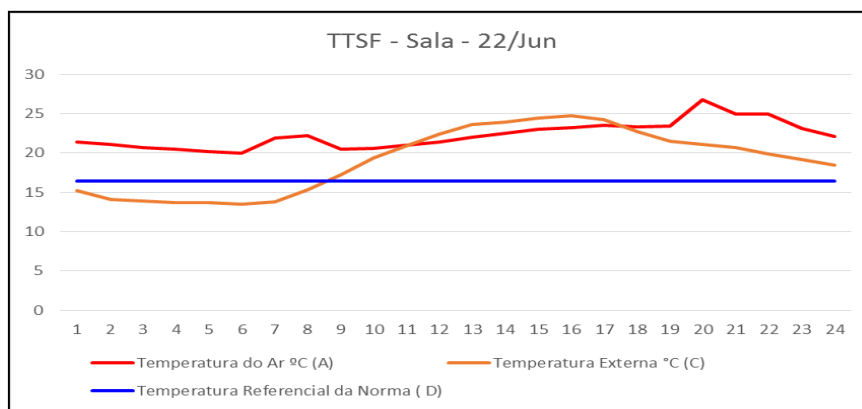


Figura M.15 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TTFSF – Sala

B. TTCF

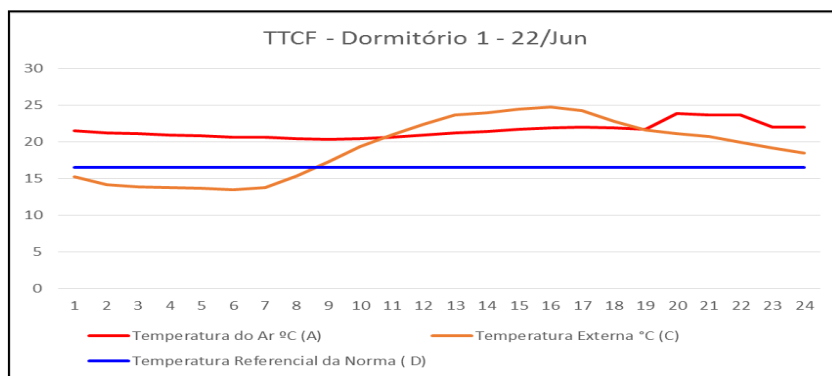


Figura M.16 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCF – Dormitório 1

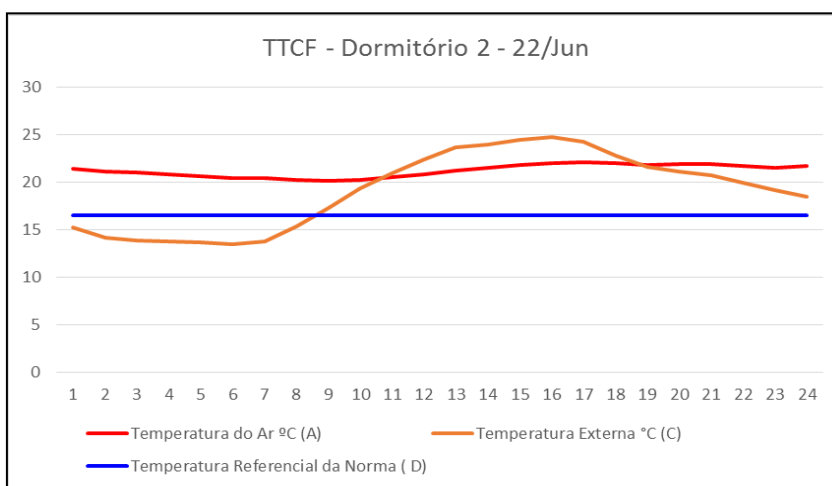


Figura M.17 – Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCF – Dormitório 2

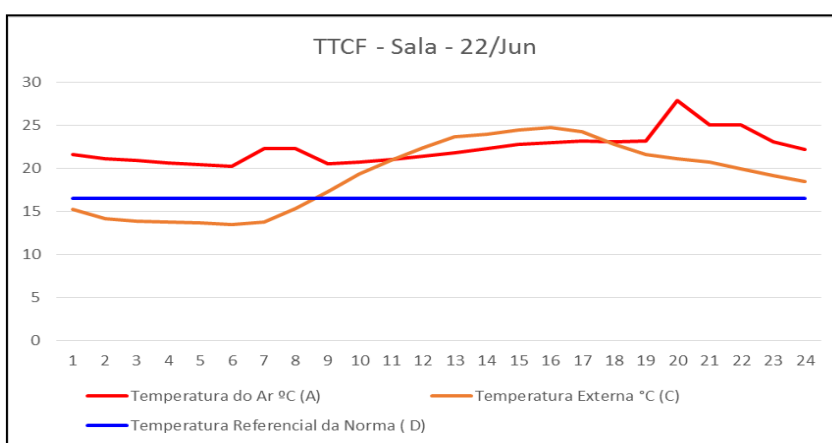


Figura M.18 – Temperatura Condição dia típico de Inverno TTCF – Sala

C. TCSF

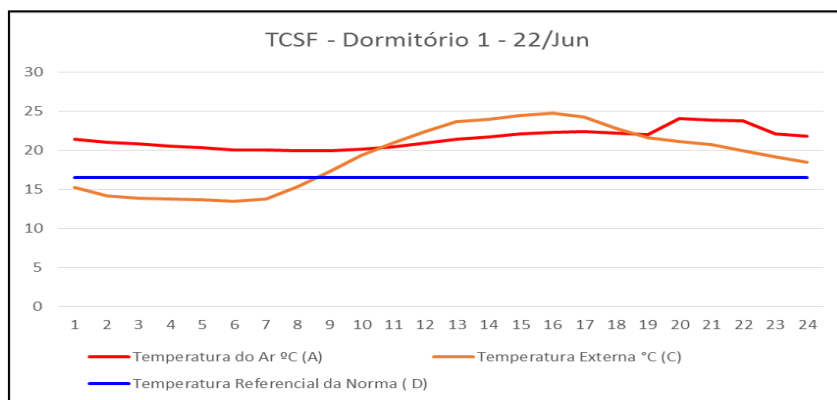


Figura M.19 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TCSF – Dormitório 1

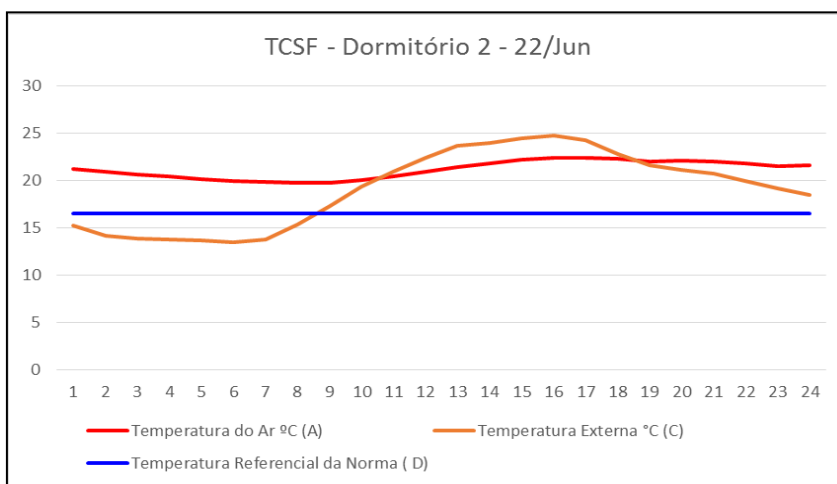


Figura M.20 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TCSF – Dormitório 2

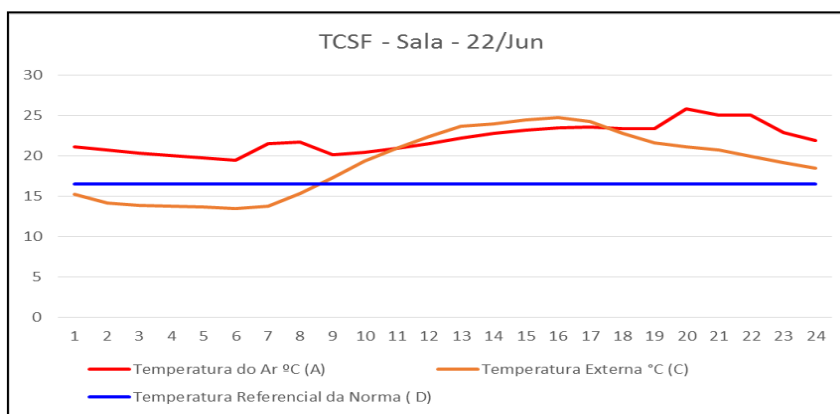


Figura M.21 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TCSF – Sala

D. TCCF

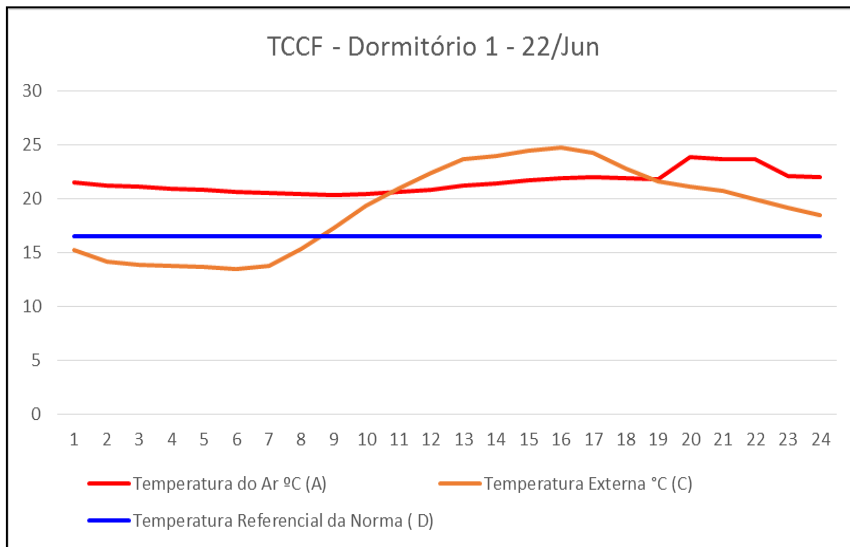


Figura M.22 - Temperatura Condição dia típico de Inverno TCCF – Dormitório 1

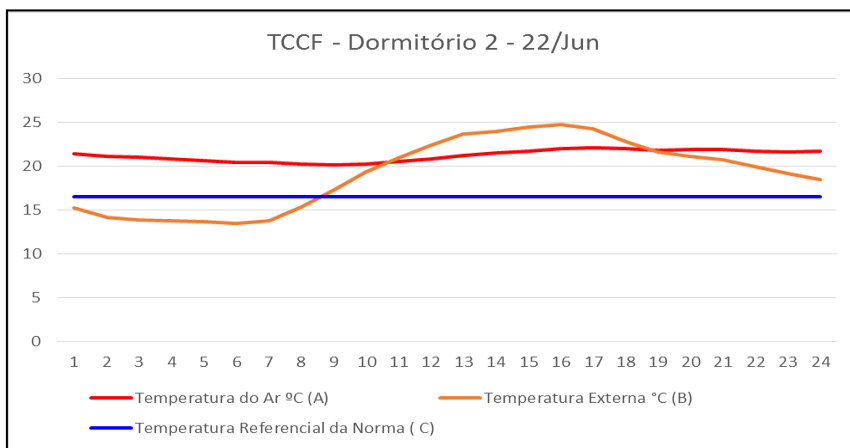


Figura M.23 – Temperatura Condição dia típico de Inverno TCCF – Dormitório 2

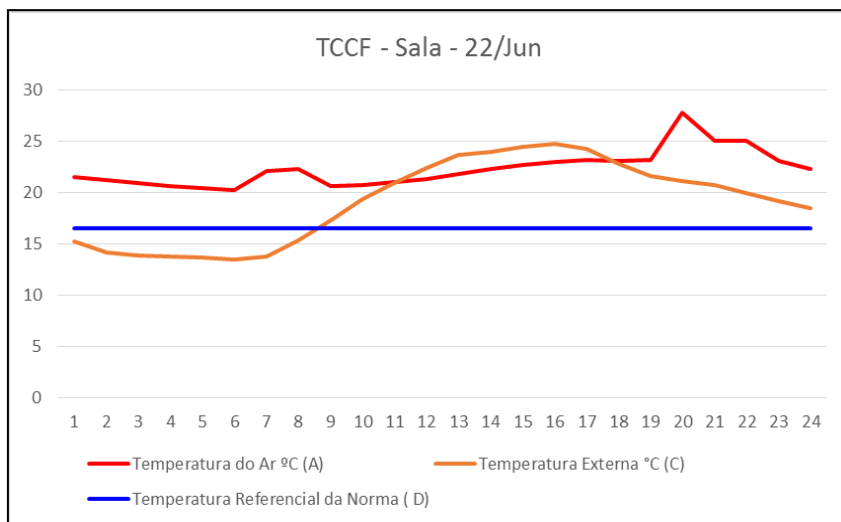


Figura M.24 – Temperatura Condição dia típico de Inverno TCCF – Sala