

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RICARDO GIOVANI TAMBOSI

DESEMPENHO TÉRMICO DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS DE JOINVILLE

JOINVILLE – SC
2022

RICARDO GIOVANI TAMBOSI

**DESEMPENHO TÉRMICO DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS DE JOINVILLE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Engenharia Urbana e da Construção Civil.

Prof. Orientadora: Dra. Ana Mirthes Hackenberg

JOINVILLE – SC

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Tambosi, Ricardo Giovani
Desempenho térmico das coberturas das edificações
industriais de Joinville / Ricardo Giovani Tambosi. -- 2022.
114 p.

Orientadora: Ana Mirthes Hackenberg
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2022.

1. Desempenho térmico. 2. Edificações Industriais. 3.
Coberturas. 4. Envoltória. I. Hackenberg, Ana Mirthes . II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

RICARDO GIOVANI TAMBOSI

**DESEMPENHO TÉRMICO DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS DE JOINVILLE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Engenharia Urbana e da Construção Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr.^a Ana Mirthes Hackenberg
CCT/Udesc (presidente/orientadora)

Membros:

Prof. Dr. Americo Hiroyuki Hara
CCT/Udesc

Prof. Dr. Matheus Soares Geraldi
UFSC

Joinville,SC, 25 de março de 2022.

O quão feliz é uma pessoa depende da profundidade de sua gratidão.

John Miller

RESUMO

As pessoas ao serem submetidas a temperaturas elevadas, principalmente no ambiente de trabalho, perdem produtividade, desempenho, concentração e aumentam a propensão a acidentes. Por isso, a importância em poder funcionar sem ser submetido a fadiga e estresse térmico nos ambientes que o circunda. Visando buscar melhorias destes locais, o objetivo desta pesquisa foi analisar o desempenho térmico das coberturas de galpões industriais situados no município de Joinville-SC, classificando os tipos de cobertura segundo seu desempenho térmico e identificando quais as melhores opções de materiais existentes visando o conforto térmico dos usuários. As informações foram coletadas por meio de *software* de geolocalização por satélite em que foram medidas as dimensões e áreas das coberturas dos galpões industriais. A partir dos dados coletados, foi realizado o tratamento das amostras por meio de método estatístico e atribuída uma área padrão que melhor represente a realidade do município para sequência no estudo. Após a definição da área, foram calculados os desempenhos térmicos de duas edificações visando confirmar o local de maior influência no desempenho térmico da envoltória. Obtida essa informação, foram realizadas alterações de tipos de estrutura e refeitos os cálculos de desempenho térmico. Em seguida, essas novas estruturas analisadas foram classificadas segundo seu desempenho e determinada qual a que melhor proporciona conforto térmico aos usuários. Então, foram refeitos os cálculos por meio de simulação computacional com a mesma estrutura padrão determinada e realizadas as modificações nos tipos de estrutura com intuito de analisar o desempenho térmico. Por fim, classificou-se esses resultados e obteve-se a solução com melhor desempenho térmico. Ao término do estudo, concluiu-se que a cobertura é o componente da envoltória que mais contribui com a incidência de calor no ambiente interno dos galpões e que os tipos de materiais utilizados na composição das estruturas influenciam diretamente no desempenho térmico das edificações.

Palavras Chave: Desempenho térmico; Edificações Industriais; Coberturas; Envoltória.

ABSTRACT

People when subjected to high temperatures, especially in the work environment, lose productivity, performance, concentration and increase the propensity to accidents. Therefore, the importance of being able to function without being subjected to fatigue and thermal stress in the environments that surround it. In order to seek improvements in these places, the objective of this research was to analyze the thermal performance of the roofing of industrial warehouses located in the city of Joinville-SC, classifying the types of roofing according to their thermal performance and identifying the best options of existing materials aiming to thermal comfort of users. The information was collected using satellite geolocation software in which the dimensions and areas of the roofs of the industrial warehouses were measured. Based on the data collected, the samples were processed using a statistical method and a standard area was assigned that best represents the reality of the municipality for further study. After defining the area, the thermal performances of two buildings were calculated in order to confirm the place with the greatest influence on the thermal performance of the envelope. After obtaining this information, changes were made to the types of structure and the thermal performance calculations were redone. Then, these new analyzed structures were classified according to their performance and determined which one best provides thermal comfort to users. Then, the calculations were redone through computer simulation with the same determined standard structure and modifications were made in the types of structure in order to analyze the thermal performance. Finally, these results were classified and the solution with the best thermal performance was obtained. At the end of the study, it was concluded that the roof is the component of the envelope that most contributes to the incidence of heat in the internal environment of the sheds and that the types of materials used in the composition of the structures directly influence the thermal performance of the buildings.

Keywords: Thermal performance: Industrial Buildings: Roofing: Envelope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transferência de calor nos telhados	24
Figura 2 - Partes da edificação que compõem a envoltória	25
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	32
Figura 4 - Diagrama Psicrométrico de Givoni.....	32
Figura 5 – Grupos Climáticos 1 a 8	35
Figura 6 – Grupos Climáticos 9 a 16	36
Figura 7 – Grupos Climáticos 17 a 24	36
Figura 8 - Fluxograma de etapas da metodologia utilizada na pesquisa.....	39
Figura 9 - Distrito industrial de Joinville	40
Figura 10 - Exemplo de medição usando software Google Maps	41
Figura 11 - Distribuição aleatória das áreas de cobertura medidas	48
Figura 12 - Boxplot das áreas de cobertura medidas.....	49
Figura 13 - Boxplot 2 das áreas de cobertura tratadas	50
Figura 14- Boxplot 3 das áreas de cobertura tratadas	51
Figura 15 - Propriedades térmicas de parede - Edificação 1	54
Figura 16 - Propriedades térmicas de parede - Edificação 2	55
Figura 17 - Propriedades térmicas da cobertura edificação 1	59
Figura 18 - Propriedades térmicas da cobertura edificação 2	60
Figura 19 - Propriedades térmicas da cobertura opção 1	62
Figura 20 - Propriedades térmicas da cobertura opção 2	63
Figura 21 Propriedades térmicas da cobertura opção 3.....	64
Figura 22 - Propriedades térmicas da cobertura opção 4	65
Figura 23 - Propriedades térmicas da cobertura opção 5	66
Figura 24 - Propriedades térmicas da cobertura opção 6	67
Figura 25 - Propriedades térmicas da cobertura opção 7	68
Figura 26 - Propriedades térmicas da cobertura opção 8	69
Figura 27 - Propriedades térmicas da cobertura opção 9	70
Figura 28 - Propriedades térmicas da cobertura opção 10	71
Figura 29 - Propriedades térmicas da cobertura opção 11	72
Figura 30 - Propriedades térmicas da cobertura opção 12	73
Figura 31 - Propriedades térmicas da cobertura opção 13	74
Figura 32 - Propriedades térmicas da cobertura opção 14	75

Figura 33 - Propriedades térmicas da cobertura opção 15	76
Figura 34 - Propriedades térmicas da cobertura opção 16	77
Figura 35 - Propriedades térmicas da cobertura opção 17	78
Figura 36 - Propriedades térmicas da cobertura opção 18	79
Figura 37 - Propriedades térmicas da cobertura opção 19	80
Figura 38 - Propriedades térmicas da cobertura opção 20	81
Figura 39 - Propriedades térmicas da cobertura opção 21	82
Figura 40 - Propriedades térmicas da cobertura opção 22	83
Figura 41 - Gráfico dos fluxos de calor em função das opções.....	90
Figura 42 - Gráfico dos fluxos de calor em ordem crescente em função das opções	92
Figura 43 - Ilustração 3D do galpão no software SketchUp	94
Figura 44 - Zonas térmicas presentes no galpão	94
Figura 45 – Página de entrada Software Energy Plus.....	95
Figura 46 – Página de entrada de dados no software Energy Plus.....	96
Figura 47 - Ilustração da entrada dos dados térmicos de cada material que compõe a envoltória.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de temperatura com produtividade e frequência de erros	18
Tabela 2 - Absortância relacionada com materiais e cores	30
Tabela 3 – Critérios para a classificação dos Grupos Climáticos	35
Tabela 4 – Transmitância térmica (U) para cada tipo de vedação externa	43
Tabela 5 - Resistência superficial externa (Rse)	43
Tabela 6 - Valores de Fator Solar (Fs) para cada tipo de vedação externa	44
Tabela 7 - Áreas de cobertura medidas	47
Tabela 8 - Resultados de média, mediana e desvio padrão das amostras	48
Tabela 9 - Valores de primeiro e terceiro quartis do boxplot	49
Tabela 10 - Valores de primeiro e terceiro quartis do boxplot 2	50
Tabela 11 - Resultados de média, mediana e desvio padrão das amostras após o segundo corte (em m ²)	51
Tabela 12 - Áreas de cobertura após o tratamento das amostras distribuídas de forma crescente	52
Tabela 13 - Cálculo do intervalo de confiança	53
Tabela 14 - Dimensões da estrutura física das edificações	54
Tabela 15 - Dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais (W/m ²). Latitude 25° Sul	55
Tabela 16 - Dados climáticos da cidade de Joinville-SC	56
Tabela 17 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas paredes das fachadas da edificação 1	57
Tabela 18 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas paredes das fachadas da edificação 2	57
Tabela 19 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas aberturas das fachadas das edificações 1 e 2	58
Tabela 20 - Valores totais de transferência de energia por fachadas da edificação 1	59
Tabela 21 - Valores totais de transferência de energia por fachadas da edificação 2	59
Tabela 22 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total na cobertura da edificação 1	60
Tabela 23 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total na cobertura da edificação 2	60

Tabela 24 - Resultados finais de fluxo energético em relação aos locais da edificação 1	61
Tabela 25 - Resultados finais de fluxo energético em relação aos locais da edificação 2	61
Tabela 26 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 1	63
Tabela 27 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 2	64
Tabela 28 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 3	65
Tabela 29 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 4	66
Tabela 30 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 5	67
Tabela 31 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 6	67
Tabela 32- Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 7	68
Tabela 33 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 8	69
Tabela 34 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 9	70
Tabela 35 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 10	71
Tabela 36 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 11	72
Tabela 37 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 12	73
Tabela 38 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 13	74
Tabela 39 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 14	75
Tabela 40 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 15	76
Tabela 41 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 16	77
Tabela 42 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 17	78
Tabela 43 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 18	79
Tabela 44 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 19	80
Tabela 45- Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 20	81
Tabela 46 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 21	82
Tabela 47 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 22	83
Tabela 48 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 23	84
Tabela 49 – Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 24.	84
Tabela 50 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 25 .	85
Tabela 51 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 26 .	85
Tabela 52 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 27 .	85
Tabela 53 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 28 .	85
Tabela 54 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 29 .	86
Tabela 55 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 30 .	86

Tabela 56 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 31	.86
Tabela 57 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 32	.86
Tabela 58 - Coberturas com descrição completa e reduzida	87
Tabela 59 - Resumo das opções e fluxos de calor	89
Tabela 60 - Classificação das opções de cobertura em ordem crescente dos fluxos de calor	91
Tabela 61 - Dados dos materiais necessários para simulação	96
Tabela 62 - Tipos de coberturas selecionados para a simulação	98
Tabela 63 - Descrição das características de cada material que compõe a cobertura	98
Tabela 64 - Descrição das características de cada material que compõe a cobertura (2)	99
Tabela 65 - Composição das superfícies	99
Tabela 66 - Transmitância térmica de cada uma das estruturas de coberturas	100
Tabela 67 - Classificação das coberturas conforme sua transmitância térmica	101
Tabela 68 - Emissão de calor pela convecção da envoltória	102
Tabela 69 - Emissão de calor para a atmosfera	103
Tabela 70 - Classificação para emissão de calor pela convecção da envoltória	104
Tabela 71 - Classificação para emissão de calor para a atmosfera	105

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2	REVISÃO	21
2.1	CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA OS USUÁRIOS.....	21
2.2	CARACTERISTICAS E DEFINIÇÕES DA EDIFICAÇÃO	23
2.2.1	Envoltória.....	24
2.2.2	Transmitância térmica (U)	25
2.2.3	Iluminação e ventilação natural	26
2.2.4	Insolação e sombreamento	27
2.2.5	Capacidade Térmica (CT)	28
2.2.6	Absortância.....	29
2.2.7	Zonas e Cartas Bioclimáticas.....	31
2.3	DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS.....	37
3	METODOLOGIA	39
3.1	CALCULO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA	42
3.1.1	Método para determinação do fluxo de calor em superfícies opacas verticais (paredes).....	42
3.1.2	Método para determinação do fluxo de calor em materiais transparentes.....	43
3.1.3	Método para determinação do fluxo de calor total de cada fachada de uma edificação	45
3.1.4	Método para determinação do fluxo de calor em superfícies opacas horizontais (coberturas)	45
3.1.5	Método comparativo entre as fachadas e coberturas da edificação ..	46
3.2	MODIFICAÇÃO DE ESTRUTURA DE ENVOLTÓRIA	46
3.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1	INFORMAÇÕES DAS EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS DE JOINVILLE	47
4.2	IDENTIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DAS EDIFICAÇÕES ESCOLHIDAS	53

4.3	CALCULO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO.....	54
4.3.1	Determinação do fluxo de calor em superfícies opacas verticais (paredes).....	54
4.3.2	Determinação do fluxo de calor em superfícies verticais transparentes (aberturas nas fachadas).....	57
4.3.3	Determinação do fluxo de calor total nas fachadas das edificações	58
4.3.4	Determinação do fluxo de calor em superfícies opacas horizontais (cobertura)	59
4.3.5	Comparação entre as fachadas e coberturas das edificações	61
4.4	MODIFICAÇÕES DE ESTRUTURA DE COBERTURA.....	62
4.4.1	Opção 1 - Laje maciça em concreto aparente sem cobertura.....	62
4.4.2	Opção 2 - Laje maciça em concreto aparente com pintura branca sem cobertura.....	63
4.4.3	Opção 3 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica em concreto aparente sem cobertura.....	64
4.4.4	Opção 4 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com pintura branca sem cobertura.....	65
4.4.5	Opção 5 – Laje pré-moldada com EPS em concreto aparente sem cobertura.....	66
4.4.6	Opção 6 – Laje pré-moldada com EPS com pintura branca sem cobertura.....	67
4.4.7	Opção 7 – Laje maciça com cobertura em telha cerâmica	68
4.4.8	Opção 8 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha cerâmica	69
4.4.9	Opção 9 – Estrutura sem laje, forro de PVC com cobertura em telha cerâmica.....	70
4.4.10	Opção 10 – Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha cerâmica	71
4.4.11	Opção 11 – Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha cerâmica.....	72
4.4.12	Opção 12 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha fibrocimento	73

4.4.13	Opção 13 – Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha fibrocimento	74
4.4.14	Opção 14 – Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha fibrocimento.....	75
4.4.15	Opção 15 – Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha fibrocimento.....	76
4.4.16	Opção 16 – Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura.....	77
4.4.17	Opção 17 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura	78
4.4.18	Opção 18 – Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura	79
4.4.19	Opção 19 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura	80
4.4.20	Opção 20 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliestireno sem pintura.....	81
4.4.21	Opção 21 – Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliestireno sem pintura	82
4.4.22	Opção 22 – Laje protendida alveolar com cobertura em telha fibrocimento.....	83
4.4.23	Opção 23 - Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC .	84
4.4.24	Opção 24 - Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	84
4.4.25	Opção 25 - Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	85
4.4.26	Opção 26 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC.....	85
4.4.27	Opção 27 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS.....	85
4.4.28	Opção 28 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje.....	85

4.4.29	Opção 29 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	86
4.4.30	Opção 30 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	86
4.4.31	Opção 31 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS.....	86
4.4.32	Opção 32 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	86
4.5	CLASSIFICAÇÃO DAS OPÇÕES DE COBERTURAS CALCULADAS.....	88
4.6	SIMULAÇÃO DE GALPÕES	93
4.6.1	Modelagem da estrutura 3D do galpão e zonas térmicas.....	94
4.6.2	Preparação dos galpões para simulação	95
4.6.3	Simulação dos galpões	97
4.6.3.1	Resultados em função da transmitância térmica.....	95
4.6.3.2	Resultados em função do fluxo de calor	97
4.6.3.3	Análise dos resultados obtidos nas simulações.....	101
5	CONCLUSÃO	107
	REFERENCIAS.....	109

1 INTRODUÇÃO

O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse. Uma das principais funções da arquitetura é oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior das edificações, independente das condições climáticas externas (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Para Krüger e Mori (2012, p.90):

“O desconhecimento de soluções arquitetônicas adequadas para a otimização das condições de conforto (ou diminuição do desconforto) em edificações acaba resultando em ambientes termicamente desfavoráveis. Situações em que a simples permanência no ambiente, seja ele local de trabalho ou de moradia, torna-se uma experiência bastante desagradável do ponto de vista do conforto de seus ocupantes. Indo-se um pouco mais além na análise das consequências, poder-se-á verificar a diminuição do rendimento nas atividades a serem realizadas, no caso de ambientes de trabalho, ou mal-estar físico, no caso de moradias”.

Para Bogo e Pickler (2017), boa parte da produção arquitetônica não apresenta condições de conforto adequadas aos usuários por falhas de projeto, ou se limitam a atender aos requisitos morfológicos, funcionais e estéticos, numa redução dos compromissos da arquitetura com o ser humano.

Segundo Camioto, Rebelatto e Rocha (2016), melhorar essas condições de conforto poderá implicar na redução da energia necessária por unidade de produto econômico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais.

Para Vergara (2001), os estudos de conforto térmico buscam estabelecer formas de avaliação das condições necessárias para um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, baseados principalmente, na busca da satisfação térmica do homem com o ambiente, no aumento de sua performance e na conservação de energia.

Conte (2003) afirmou que as pessoas são mais produtivas quando trabalham em um ambiente termicamente agradável e confortável. Assim, as organizações devem proporcionar melhorias para os colaboradores para, conseqüentemente, ganharem em produtividade.

Comprovando este pensamento, Ciocci (2004) afirmou que quando há excesso de temperatura no ambiente de trabalho, ocorrem perdas significativas de

produtividade. Por meio da Tabela 1, é possível perceber que conforme aumenta-se a temperatura do local, conseqüentemente, reduz-se a produtividade e aumentam-se os erros nos produtos. Assim, em locais com temperatura de 32°C, segundo o estudo, a produtividade é reduzida em 28,5% e a quantidade de erros é aumentada em 270%, prejudicando severamente a produtividade e qualidade das atividades prestadas.

Tabela 1 - Relação de temperatura com produtividade e frequência de erros

Temperatura (°C)	26	28	30	32	34	36	38	40
Produtividade (%)	-6,5	-12,5	-20,0	-28,5	-39,0	-51,0	-64,5	-76,5
Frequência de erros (%)	+3,5	+12	+75	+270	+550	+700	-	-

Fonte: CIOCCI (2004)

Seguindo a mesma linha de pensamento, Lida e Buarque (2000) afirmaram que quando uma pessoa é obrigada a suportar altas temperaturas, seu rendimento cai significativamente. A velocidade do trabalho diminui, as pausas se tornam maiores, a propensão a acidentes aumenta (principalmente a partir de 30°C) e a concentração diminui. Por isso, a importância em melhorias nos ambientes de trabalho, visando o conforto dos usuários.

De acordo com Anvisa (2003), a temperatura interna ideal nos ambientes deve variar de 23°C a 26°C, portanto para atingir melhores condições de conforto aos usuários, o ideal é que a temperatura seja amena, nem muito frio nem muito quente.

Segundo Verdussen (1978), a temperatura é um ponto que deve merecer o maior cuidado, quando se busca elaborar condições ambientais adequadas aos serviços. Evidentemente, muitos fatores atuam para que uma temperatura seja agradável ou não, quer humanos ou físicos. Deste modo, conforme o estado a idade e hábitos, uma mesma temperatura poderá causar diferentes sensações em diferentes indivíduos.

Outro fator importante para o conforto térmico dos usuários é a ventilação do ambiente que, para Lida (2000), é uma concepção importante do conforto térmico, porque auxilia na remoção por convecção o calor gerado pelo corpo. Ao remover o ar saturado próximo da pele, propicia a evaporação do suor e o resfriamento do corpo.

Sobre o assunto, Lamberts, Dutra e Pereira (2013) afirmaram que a ventilação é uma das estratégias bioclimáticas mais importante para o Brasil, sendo que a grande

maioria das capitais brasileiras exigem a ventilação natural como principal estratégia no verão, mas também ao longo do ano todo.

Assim, percebe-se que os ambientes de trabalho são gravemente afetados quando a envoltória da edificação não propicia as trocas de calor, ventilação e condições de conforto necessárias. Reforçando este pensamento, Sadineni, Madala e Boehm (2011) afirmaram que a envoltória da edificação é o fator chave que determina a qualidade e o controle das condições de conforto da edificação, independentemente das condições externas passageiras.

Nos ambientes industriais, principalmente nas áreas fabris, convencionou-se buscar a maior produção, com menor tempo e custo possível. Porém, percebeu-se que quando as escolhas na etapa de projeto de uma edificação industrial visam apenas o custo da edificação e não o conforto dos usuários, a qualidade dos produtos é comprometida, gerando refugos e defeitos. Por isso, a importância de estudos visando melhorar o desempenho térmico das construções para possibilitar o aprimoramento de espaços mais confortáveis aos colaboradores.

Dessa forma, nota-se que o conforto térmico é um fator que influencia diretamente na qualidade de vida, satisfação, desempenho e produtividade do ser humano dentro do ambiente que o circunda. Por isso, é indispensável o desenvolvimento de métodos construtivos e materiais que propiciem melhores condições de trabalho e saúde dos colaboradores envolvidos.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa é analisar o desempenho térmico de coberturas nas edificações industriais da cidade de Joinville-SC.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar as áreas de cobertura que melhor representem as edificações industriais de Joinville;
- b) Calcular o desempenho térmico da envoltória de duas edificações industriais e descobrir qual parte da envoltória possuir maior influência no conforto dos usuários;
- c) Estudar e comparar a influência dos tipos de materiais da envoltória no desempenho térmico;
- d) Classificar os resultados e obter a melhor solução de desempenho térmico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA OS USUÁRIOS

Conforto térmico é definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A insatisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (LAMBERTS, 2011).

Segundo Frota e Schiffer (2001), a partir das variáveis climáticas do conforto térmico e de outras diversas variáveis, vem sendo desenvolvida uma série de estudos que procuram determinar as condições de conforto térmico para os usuários.

Para Ruas (1999), o conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

Seguindo o mesmo pensamento, Fante, Dubreuil e Sant'anna Neto (2017, p.589) afirmaram que “definir o que é confortável ou desconfortável do ponto de vista térmico requer a análise de diversos fatores fisiológicos, individuais, ambientais e subjetivos que juntos conjugam a sensação de bem ou mal-estar térmico individual”.

Através de critérios estabelecidos, é possível analisar uma edificação quanto a sua eficiência energética e conhecer as alterações necessárias para buscar a sua melhoria. Lambert, Dutra e Pereira (2014, p.05) explicaram:

“A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

“A eficiência energética é medida e associada com a busca pelo máximo nível de desempenho térmico e luminoso dos ambientes, com o menor consumo de energia” (LEITZKE *et al.*, 2017, p.60)

Reforçando a ideia das duas pesquisas anteriores citadas, Lukiantchuki e Caram (2014) afirmaram que atualmente uma das principais funções dos arquitetos é

a concepção de projetos mais eficientes que proporcionem conforto aos usuários, ao mesmo tempo que reduzam o consumo de energia elétrica.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.49):

“O conforto térmico sempre foi um conceito subjetivo, pois diversos são os fatores e variáveis que influenciam no bem estar térmico do homem no meio em que se encontra. Muitos pesquisadores buscaram enquadrar de forma simplificada este conceito para facilitar sua compreensão e mesmo prever quando o conforto ou desconforto ocorreria em determinada situação. Entre as principais e mais atuais tentativas, destacam-se os índices de conforto térmico...”.

A Comissão Americana da Ventilação efetuou estudo em 1916, e identificou que o aumento da temperatura ambiente de 20 para 24°C diminui o rendimento em 15% e atividades realizadas em ambientes com 30°C e umidade relativa de 80% o rendimento cai em 28% (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Complementando esses resultados, Lima *et al* (2019, p.110) também afirmaram que “a temperatura do ambiente influencia nas atividades diárias, na produtividade e no bem-estar das pessoas. Assim, estudos são indispensáveis para entender os efeitos do clima e as respostas do ser humano às variações climáticas”.

Lambert, Dutra e Pereira (2014) explicam que a eficiência energética na arquitetura representa o potencial da edificação em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro, quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Para Fleckinger, Glachant e Kamga (2019) melhorar a eficiência energética é visto como um dos principais meios para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e, de maneira mais geral, limitar a poluição gerada pela produção, distribuição e uso de energia.

Demonstrando a importância do assunto, Prado, Silva e Ròmero (2018) expuseram que “a eficiência energética do ambiente construído emerge como um dos temas centrais no atual cenário mundial de busca pela sustentabilidade, seja esta econômica, ambiental ou social”. Complementando, Nakamura, Maciel e Carlo (2013, p.107) afirmaram que “A adoção de medidas de conservação de energia é fundamental, pois permite a redução do consumo de energia necessário e possibilita o desenvolvimento de um estilo de vida que demande menos gastos, por meio do emprego de soluções alternativas e de novas tecnologias”.

2.2 CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÕES DA EDIFICAÇÃO

Didoné e Pereira (2010, p.141) afirmaram que “A avaliação do desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares”.

Segundo Nicol e Humphreys (2002), o consumo de energia, qualidade de vida do ocupante e sustentabilidade das edificações estão diretamente ligados à qualidade do ambiente interno vivenciado pelo usuário.

Sobre a redução do consumo de energia, Krüger e Mori (2012, p.90) expuseram:

“As edificações apresentam oportunidades expressivas de redução de custos e economia de energia por meio do uso de produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos, ações de conscientização de seus usuários ou ainda pela implantação de sistemas de gerenciamento da energia utilizada”.

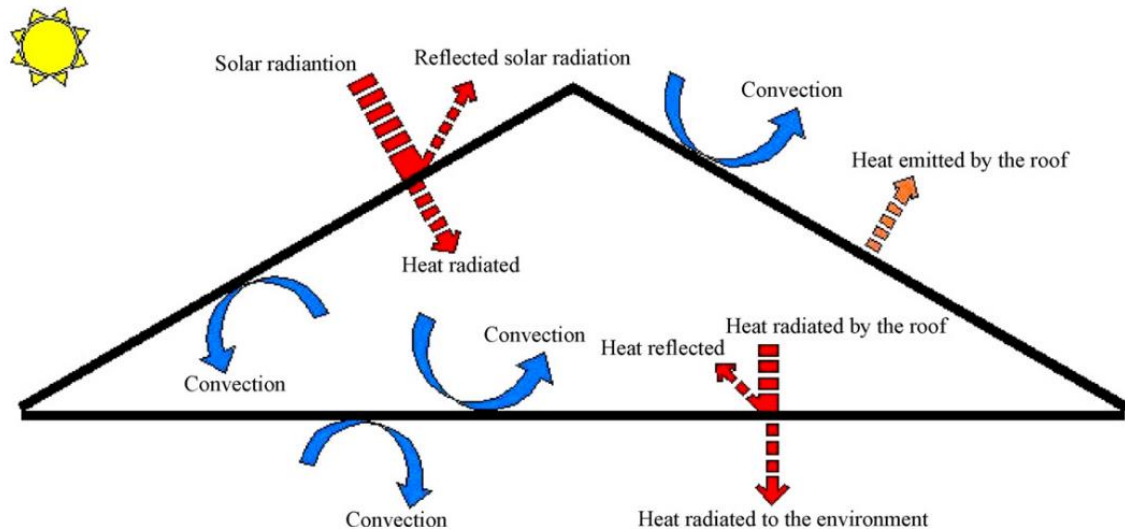
Para isso, Ordenes, Guth e Lamberts (2010) explicaram que para caracterizar os componentes construtivos em situações mais próximas da realidade do uso da edificação é necessário estimar as propriedades em campo, isto é, considerando seu desempenho sob condições climáticas específicas, as variações na qualidade dos materiais construtivos, as diferentes técnicas de construção local e o desgaste dos materiais.

Segundo Michels, Lamberts e Guth (2008), nos edifícios de pavimento único, outro ponto crítico significativo é o telhado, já que é a superfície da edificação mais exposta a radiação solar, e responsável pelo maior ganho de calor. Por isso, o uso de materiais que minimizem o fluxo de calor através de um telhado para o ambiente interno é necessário para reduzir a temperatura e consumo de energia e para proporcionar conforto ambiental aos usuários.

Explicando as trocas de calor ocorrendo nos telhados, Michels, Lamberts e Guth (2008, p.445) apresentaram a Figura 1 e comentaram:

“A radiação solar é composta por radiação de ondas curtas que, ao chegar à superfície das telhas, é absorvida e as telhas aquecem. Parte desse calor é perdida por convecção e radiação de ondas longas no ambiente externo e outra parte é absorvida pelas telhas e transmitida ao espaço correspondente ao sótão. Esta parte absorvida transmite calor de duas formas: através de radiação e convecção. Por sua vez, o incidente de radiação na superfície da laje (ou teto) é absorvido e a superfície aquece, transferindo o calor para o ambiente interno da residência”.

Figura 1 - Transferência de calor nos telhados



Fonte: Michels, Lamberts e Guth (2008, p. 446)

De acordo com Krüger e Mori (2012), a compreensão adequada e melhoria dos processos térmicos que ocorrem no interior das edificações pode atuar diretamente na redução do consumo de energia para condicionamento artificial de ambientes, podendo representar uma redução de insumos energéticos durante a gestão dos edifícios.

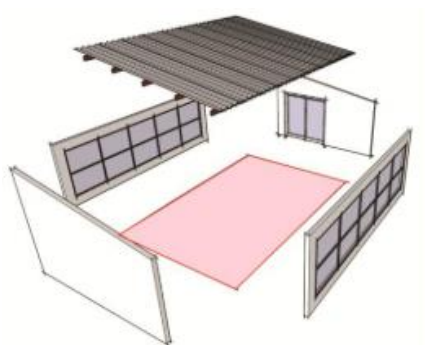
2.2.1 Envoltória

Segundo o INMETRO (2012), a envoltória é o conjunto de planos que dividem os ambientes externos dos internos, como fachadas, coberturas, aberturas e todos os elementos que os compõem, excluindo-se os pisos.

As partes da edificação que constituem a envoltória se encontram discriminadas na Figura 2, adicionando-se a definição dado por INMETRO (2017, p.36):

“A envoltória pode ser comparada à pele da edificação. Trata-se do conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo”.

Figura 2 - Partes da edificação que compõem a envoltória



Fonte: INMETRO (2017)

Sobre as características da envoltória, Carlo (2008, p.23) explica:

“As características da envoltória que podem aumentar ou minimizar os ganhos de calor são as cores da envoltória, as propriedades térmicas de materiais e componentes como vidros, paredes e coberturas, e a exposição ao ambiente externo, como a ausência de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior. As características da envoltória são, em geral, comuns em todas as análises sobre eficiência energética de edificações, com pequenas variações de um estudo para outro”.

Segundo Chlela *et al.* (2007), as melhorias a serem feitas na envoltória dos edifícios dependem das características climáticas da região em que está situada, ou seja, em climas frios, a maior demanda será por aquecimento, onde o isolamento térmico e a estanqueidade da edificação devem ser a principal prioridade. Já para regiões de clima quente, a grande melhoria deve estar relacionada à diminuição da demanda de resfriamento usando proteção solar, orientação adequada do edifício, inércia térmica compatível associada à ventilação, etc.

2.2.2 Transmitância térmica (U)

A transmitância é definida pela NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) como a “transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo”.

Demonstrando a importância deste índice, Ferreira, Souza e Assis (2017, p.186) afirmam que “em geral os métodos tradicionais vigentes de avaliação de desempenho térmico de edificações com caráter prescritivo tendem a ser baseados quase que estritamente em parâmetros como a resistência térmica ou a transmitância térmica”.

Concordando com essa ideia, Specht *et al.* (2010) afirmaram que conhecer as transferências de calor do ambiente externo para o interno é necessário para um projeto de edificação energeticamente eficiente, além disso é imprescindível associar diferentes materiais e dimensões de camadas para atingir melhores condições de conforto térmico.

O cálculo da transmitância de um componente é determinado pela norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), conforme a Equação 1.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

Onde:

U = transmitância térmica (W/m².K)

R_T = resistência térmica total (m².K/W)

2.2.3 Iluminação e ventilação natural

Didoné e Pereira (2010) afirmaram que nas edificações de escritório a iluminação e o condicionamento artificial dos ambientes são os principais responsáveis pelos consumos de energia. Uma solução para reverter esta realidade é a adoção de dispositivos mais eficazes associados a estratégias de projeto que busquem melhores aproveitamentos da iluminação e ventilação natural.

Destacando a importância da ventilação e iluminação natural, Ferreira, Souza e Assis (2017, p. 186) afirmaram que “no caso de climas quentes, como na maior parte do Brasil, em que boa parte das trocas de calor nas edificações ocorre por radiação, parâmetros como a ventilação e a radiação solar possuem relevância significativa para o conforto térmico”.

Segundo Babick e Torres (2017, p.113), iluminação natural é definida como:

“A utilização da luz natural nos ambientes traz benefícios a saúde física e psíquica dos usuários, além de minimizar a necessidade de uso da luz artificial, que é responsável por grande parte do consumo energético em edificações não residenciais. A variação da luz natural nas diferentes horas do dia, condições climáticas e estações do ano é importante para marcar os ritmos biológicos e psicológicos das pessoas”.

“Destaca-se o uso de estratégias passivas de condicionamento, como a iluminação e a ventilação natural, buscando ambientes agradáveis e confortáveis que

reduzam a necessidade de equipamentos elétricos para esse fim” (LUKIENTCHUKI; CARAM, 2014, p.34).

Para Stavrakakis *et al.* (2012), o custo de energia de um edifício com ventilação natural é 40% menor que o de um edifício com ar condicionado. Do ponto de vista das estratégias de ventilação natural, verificou-se que existem formas de ventilação mais eficazes e que favoreçam ainda mais o conforto térmico, como a ventilação noturna por exemplo.

Segundo Trindade, Pedrini e Duarte (2010, p.38) “entre os recursos bioclimáticos, destaca-se a ventilação natural como o principal meio de obtenção do conforto térmico no clima quente e úmido, contribuindo também para diminuir a necessidade de condicionamento artificial”.

Reforçando a importância desta ventilação, Al-Sallal e Al-Rais (2012) afirmaram que a ventilação natural é um dos fatores mais importantes relacionados ao conforto térmico dos usuários, além disso, possui papel vital na eficiência energética da edificação, devido ao grande impacto na quantidade de consumo de energia dos ambientes.

2.2.4 Insolação e sombreamento

O Brasil possui um clima variado devido ao seu imenso território. Apesar dessa diversidade climática, quase que a totalidade do território brasileiro está sujeita à intensa e abundante insolação na maior parte do ano. O sol tem grande importância no estudo do conforto, tanto como fonte de luz como de calor, principalmente em regiões tropicais. Se esse recurso não for utilizado de maneira coerente, o desconforto pode ser maior que os benefícios (LUKIENTCHUKI; CARAM, 2014).

Segundo Coelho, Gomes e Dornelles (2017) a radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios em países de clima quente.

Segundo Leitzke *et al.*, 2017, p.60

“...com o objetivo de promover a eficiência energética dos edifícios, uma das possibilidades a ser discutida é a otimização de dispositivos de sombreamento. O *brise-soleil* é um dispositivo de controle de radiação solar que auxilia no desempenho termoenergético das edificações e pode ser projetado de variadas formas. Sua influência pode ser diretamente em parte da envoltória da edificação ou por inteiro na própria fachada, na difusão e no controle da entrada de luz visível e como controlador dos ganhos de radiação (ondas curtas) para atenuar o efeito estufa dos ambientes internos, diminuindo a dependência dos controladores artificiais de ar.”

Fossati e Lamberts (2010) afirmaram que a ausência de sombreamento nas aberturas contribui para o aumento no consumo de energia dos edifícios e menor classificação no nível de eficiência em função da obtenção de indicadores de consumo mais elevados em relação a edifícios que possuem elementos de sombreamento.

As diversas vantagens no uso dos brises são: proteger da radiação solar direta, captar a ventilação, refletir e distribuir a luz natural no interior dos ambientes, diminuindo o contraste provocado pelo excesso de iluminação natural próximo as janelas. Bloquear a radiação solar e aproveitar a iluminação e ventilação natural é uma das formas de proporcionar uma adequação essencial ao projeto, buscando evitar o desconforto visual, que pode ser causado por ofuscamento ou contraste, proporcionando a integração eficiente com os sistemas artificiais de condicionamento térmico e iluminação artificial (BOGO; PICKLER, 2017).

Segundo Leitzke *et al.* (2017), um aspecto de grande importância para o uso de proteções solares é seu dimensionamento adequado. Utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não é o mais indicado para avaliar o aproveitamento de luz natural, devido às variações geométricas da trajetória aparente do sol ao longo do dia. Cada orientação demanda um tipo de proteção específica, seja fixa ou móvel.

Segundo Babick e Torres (2017), a não utilização de dispositivos de sombreamento nas esquadrias, além de poder causar um grande aumento da temperatura interna, pode ainda gerar problemas de ofuscamento.

2.2.5 Capacidade Térmica (CT)

Segundo NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) a capacidade térmica é definida como a quantidade de calor que um determinado corpo deve trocar para que sua temperatura sofra uma variação unitária, seus valores variam de acordo com a composição dos materiais utilizados.

Ferreira, Souza e Assis (2017, p.186) ressaltaram a importância da capacidade térmica:

“Em edificações condicionadas naturalmente as trocas de calor ocorrem sob condições flutuantes, uma vez que os componentes da envoltória são aquecidos e resfriados periodicamente em função das variações de temperatura externa e da radiação solar incidente. Sob tais condições a capacidade térmica se torna a propriedade com efeito decisivo na determinação das condições térmicas internas”.

O cálculo da capacidade térmica é determinado pela norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) conforme a Equação 2.

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (2)$$

Onde:

C_T = capacidade térmica (J/m².K)

e_i = espessura da i ésima camada (m)

c_i = calor específico do material da i ésima camada (J/kg.K)

ρ_i = densidade da massa aparente da i ésima camada (kg/m³)

2.2.6 Absortância

Segundo INMETRO (2013, p.16) a absortância é, “uma propriedade do material referente à parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada à cor”, ou seja, a absortância é a quantidade de radiação que um material absorve a partir da quantidade de radiação total incidida nele, representado por α e calculado conforme a Equação 3.

$$\alpha = \frac{\text{Radiação absorvida}}{\text{Radiação incidente}} \quad (3)$$

Para alguns materiais e cores utilizados em coberturas de edificações, a norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) desenvolveu a

Tabela 2.

Tabela 2 - Absortância relacionada com materiais e cores

Tipo de Superfície		α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25
Caiçação nova		0,12 / 0,15
Concreto aparente		0,65 / 0,80
Telha de barro		0,75 / 0,80
Tijolo aparente		0,65 / 0,80
Reboco claro		0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25
Vidro colorido		0,40 / 0,80
Vidro metalizado		0,35 / 0,80
Pintura:		
	Branca	0,20
	Amarela	0,30
	Verde clara	0,40
	"Alumínio"	0,40
	Verde escura	0,70
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

Fonte: ABNT (2005a)

A absortância à radiação solar (α) é a fração de radiação solar absorvida quando a radiação incide em uma superfície. A absortância é um parâmetro adimensional que varia do 0 (menor absortância) até o 1 (máxima absortância), segundo a CEF (2010).

A Radiação solar (I) é uma função da orientação do fechamento, da latitude do local do projeto, do dia do ano e da hora do dia, e pode ser obtida em Tabelas com valores para céu claro (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Lambert, Dutra e Pereira (2014 p.212) definem resistência superficial externa (R_{se}) como:

“Resistência térmica superficial traduz os efeitos das trocas de calor por radiação e convecção entre a superfície do material sob análise e o meio que o circunda. Quando a superfície considerada está limitando o material e o meio externo, a resistência superficial é considerada EXTERNA”.

2.2.7 Zonas e Cartas Bioclimáticas

Segundo Madeira (1999) o mapeamento bioclimático brasileiro vem sendo desenvolvido desde a década de 80 por diversas instituições de pesquisa nacionais. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no ano de 1985, desenvolveu uma metodologia com o objetivo de avaliar o desempenho de habitações unifamiliares térreas, estabelecendo requisitos e critérios de desempenho para os componentes das edificações em situações de inverno e verão. Foram definidas 9 zonas para o inverno e 11 para o verão.

Em 1997, foram elaborados critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social por meio dos institutos de pesquisa do Programa Brasileiro de Construção Habitacional. Este documento apresenta 8 zonas bioclimáticas, abrangendo, para cada uma delas, critérios para verão e inverno (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012).

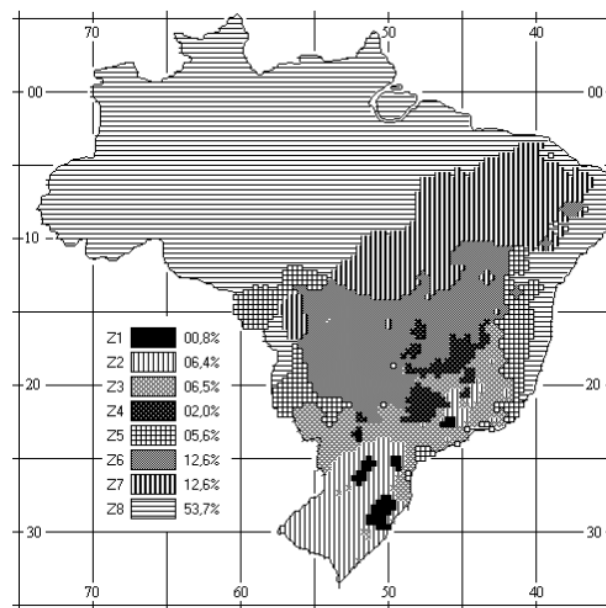
Após a elaboração destes critérios mínimos, Ferreira, Souza e Assis (2017) afirmaram que a primeira norma brasileira de desempenho instituída foi a NBR 15220 no ano de 2005. É nessa norma que o zoneamento bioclimático brasileiro é proposto, baseado no Diagrama de Givoni, tendo gerado, assim, recomendações de projeto para cada uma das oito zonas bioclimáticas.

A terceira parte desta norma, explica que o zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, determinadas segundo o clima e as melhores situações de conforto para os moradores, conforme apresenta a Figura 3 (ABNT, 2005c).

O Inmetro (2017, p.44) apresenta os objetivos das divisões em zonas bioclimáticas:

“A Zona Bioclimática (ZB) tem por objetivo determinar as estratégias que uma edificação deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Desta forma, uma ZB é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados objetivos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico”.

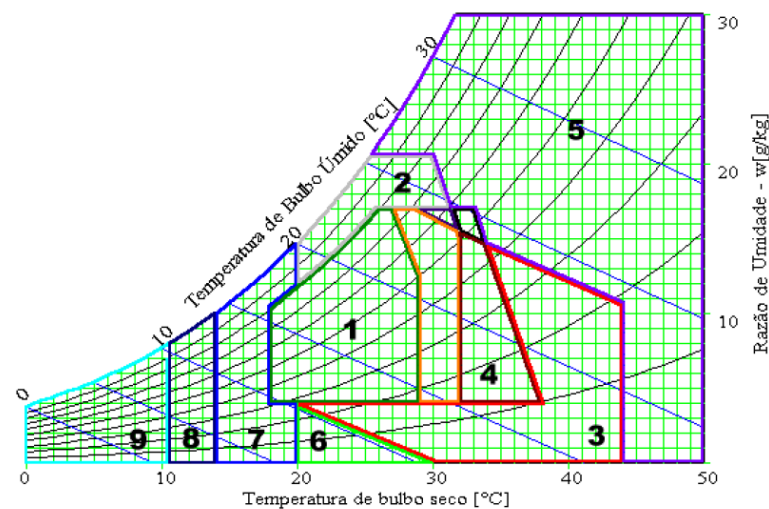
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2005c)

Segundo Tamanini (2002), através dos dados de 8.760 horas medidas de um ano climático (Test Reference Year – TRY) foi criada a carta bioclimática de Givoni para o clima brasileiro. A Figura 4 apresenta a Carta Bioclimática que Givoni concebeu sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura e umidade relativa do ar. Segundo Lamberts e Papst (2001), através desses dois índices da região, o projetista consegue buscar estratégias para propiciar melhores condições de conforto para a edificação em estudo.

Figura 4 - Diagrama Psicrométrico de Givoni



Fonte: Givoni (1992) *apud* Tamanini (2002)

Sendo zonas da Carta Bioclimática (GIVONI, 1992 *apud* TAMANINI, 2002):

1. Zona de conforto;
2. Zona de ventilação;
3. Zona de resfriamento evaporativo;
4. Zona de massa térmica para resfriamento;
5. Zona de ar condicionado;
6. Zona de umidificação;
7. Zona de massa térmica para aquecimento
8. Zona de aquecimento solar passivo
9. Zona de aquecimento artificial

Babick e Torres (2017) afirmam que para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Evidenciando essa opinião, Tamanini (2002, p.15) reforça:

“As Cartas Bioclimáticas são uma forma de traduzir o clima de um local em estratégias de projeto. Essas Cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projetos indicadas para cada período do ano. As estratégias indicadas podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos)”.

As zonas bioclimáticas expõem as diferenças entre cada clima e suas características específicas para busca do conforto do usuário, conforme explica Givoni (1992), as causas físicas e fisiológicas do estresse climático são diferentes para os tipos de ambiente em que se encontra o usuário, possuindo diferenças significativas nos detalhes apropriados do projeto de construção para cada um deles. Assim, os objetivos e detalhes dos ambientes construídos em regiões tropicais devem ser

diferentes não apenas daqueles apropriados para climas frios e temperados, mas também devem diferir em certa medida tanto para climas quentes quanto para climas úmidos.

2.2.7.1 Proposta de revisão do zoneamento bioclimático

Observando as limitações do zoneamento brasileiro dividido em oito zonas, Roriz (2012a) propôs uma nova divisão do território brasileiro em zonas que retratem, da melhor forma possível, a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações. Por isso, apresentou uma proposta para revisão do zoneamento nacional em 2012, adotando quatro parâmetros para classificação do clima, sendo eles:

- 1) TmedAno: Média anual da temperatura do ar;
- 2) dT: Diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal;
- 3) AmedAno: Média anual da amplitude térmica;
- 4) dA: Diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal.

Roriz (2012a) afirmou também que bastam pequenas alterações nos limites dos parâmetros climáticos citados para provocar importantes diferenças na abrangência e na distribuição geográfica das zonas. Assim, a aplicação deste novo método, resultou-se em 20 diferentes zonas bioclimáticas.

Visando aperfeiçoar o método e após amplas discussões e sugestões formuladas pela comunidade acadêmica, Roriz (2012b) apresentou uma nova versão de sua proposta modificando os métodos de análise e expandindo o número de parâmetros para os seguintes seis:

- 1) Tmin(m): Média Mensal da Temperatura Mínima do Ar;
- 2) Tmax(m): Média Mensal da Temperatura máxima do ar;
- 3) Tmed(m): Média mensal da temperatura do ar;
- 4) Amed(m): Média mensal da amplitude térmica;
- 5) Tmed: Média anual da temperatura do ar;
- 6) Amed: Média anual da amplitude térmica.

Aplicando o segundo método de análise, o número de zonas bioclimáticas foi ampliado para 24 e modificada a denominação para Grupos climáticos.

Estes 24 grupos climáticos são divididos de acordo com o seu clima predominante e organizados em três subdivisões: clima frio (grupos 1 a 8), clima temperado (grupos 9 a 16) e clima quente (17 a 24). A Tabela 3 apresenta os critérios para a classificação dos grupos climáticos.

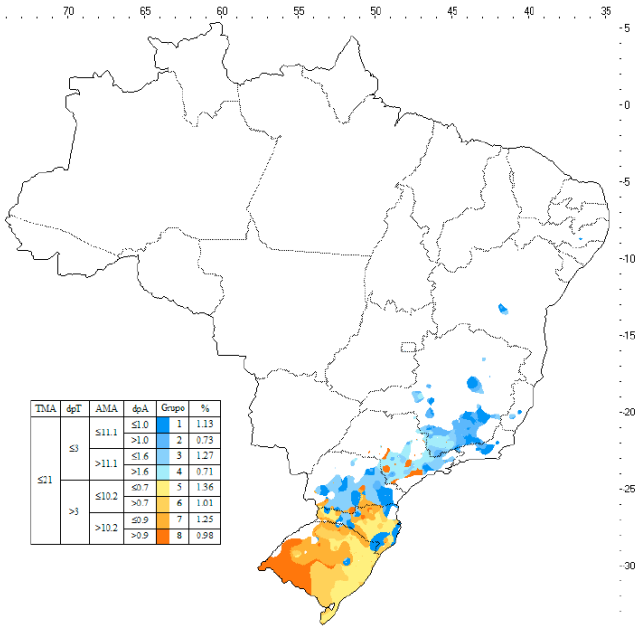
Tabela 3 – Critérios para a classificação dos Grupos Climáticos

TMA	dpT	AMA	dpA	Grupo	Quantidade Municípios	Porcentagem do Território
≤21.0	≤3.0	≤11.1	≤1.0	1	160	1.13
			>1.0	2	172	0.73
		>11.1	≤1.6	3	194	1.27
			>1.6	4	159	0.71
	>3.0	≤10.2	≤0.7	5	198	1.36
			>0.7	6	145	1.01
		>10.2	≤0.9	7	298	1.25
			>0.9	8	82	0.98
>21.0 ≤25.0	≤2.1	≤10.6	≤1.0	9	296	3.97
			>1.0	10	331	4.33
		>10.6	≤1.4	11	363	4.55
			>1.4	12	314	5.60
	>2.1	≤11.9	≤1.1	13	357	2.08
			>1.1	14	197	1.69
		>11.9	≤2.1	15	251	1.27
			>2.1	16	242	1.09
>25.0	≤1.1	≤9.6	≤1.0	17	251	13.45
			>1.0	18	190	18.88
		>9.6	≤1.8	19	310	6.73
			>1.8	20	278	8.69
	>1.1	≤10.7	≤1.2	21	183	3.64
			>1.2	22	171	9.00
		>10.7	≤1.6	23	239	2.15
			>1.6	24	183	3.44

Fonte: Roriz (2014)

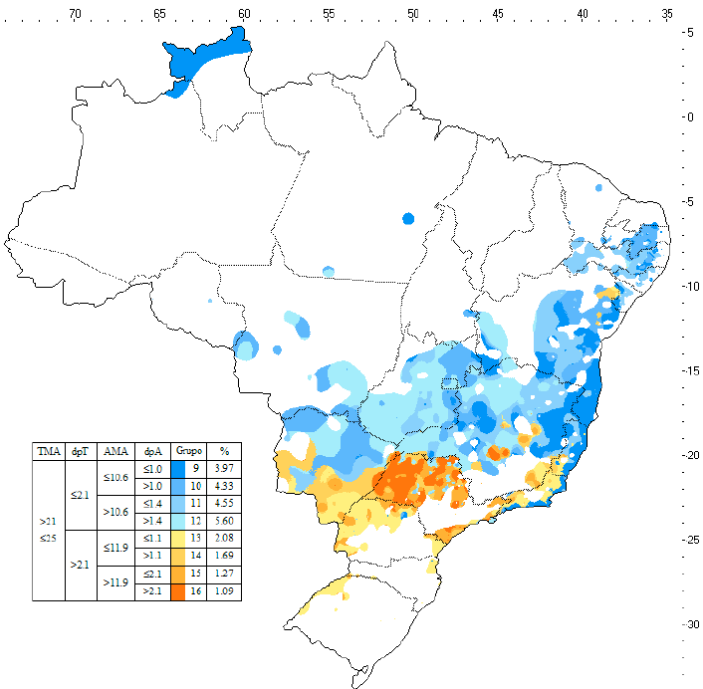
As Figura 5, 6 e 7 apresentam a distribuição dos grupos climáticos no território nacional. Ressalta-se que nesta nova proposta, a cidade de Joinville-SC se enquadra no Grupo Climático 9.

Figura 5 – Grupos Climáticos 1 a 8



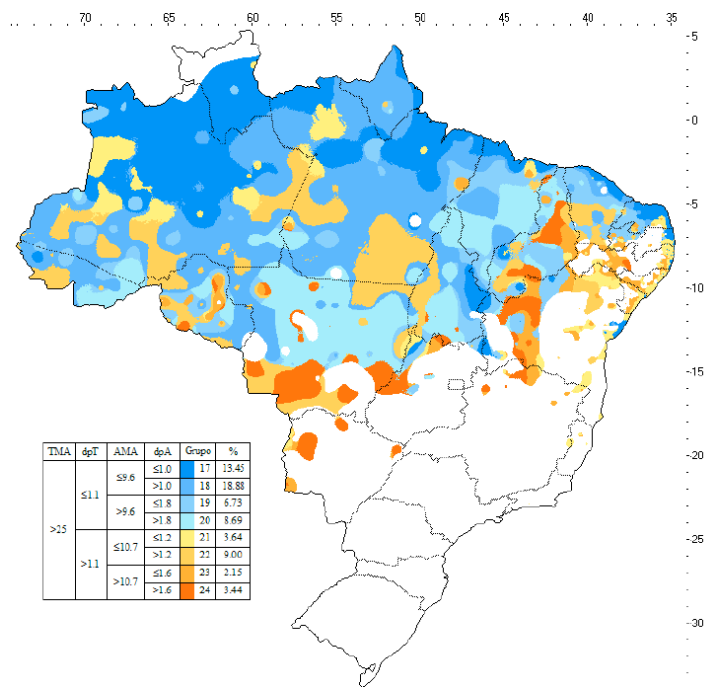
Fonte: Roriz (2014)

Figura 6 – Grupos Climáticos 9 a 16



Fonte: Roriz (2014)

Figura 7 – Grupos Climáticos 17 a 24



Fonte: Roriz (2014)

2.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS

Os telhados são os principais fatores para garantir o desenvolvimento econômico sustentável, a proteção ambiental e o bem-estar social, especialmente em um contexto de expansão urbana e mudança climática (GUZMÁN-SÁNCHEZ, *et al.* 2018)

Segundo Ferreira e Corvacho (2018) os elementos de construção que precisam ser isolados com mais cuidado para a transferência de calor por radiação são os telhados que no verão podem causar efeitos graves de superaquecimento.

Para Kachkouch *et al.* (2018, p.01):

“Sabe-se que o teto horizontal contribui em grande parte para o acúmulo de calor em um edifício, especialmente em locais com grande radiação solar. De fato, no verão e diariamente, o telhado horizontal recebe cerca de 1,5 vezes a radiação solar do que uma parede voltada para o oeste e cerca de quatro vezes que a parede voltada para o sul”.

Por isso, reduzir sua absorção da radiação solar pelo envelope construtivo das edificações, irá afetar significativamente o desempenho térmico e por consequência o consumo energético dos edifícios (TAHA *et al.*, 1988).

Segundo Michels *et al.* (2018, p.04).

“Em regiões de clima quente, é extremamente importante encontrar soluções para reduzir o ganho térmico em edifícios, e uma maneira de conseguir isso é através do telhado, considerando que em construções horizontais essa superfície está mais exposta à radiação solar e, portanto, é responsável pela maior quantidade de transferência de calor para o interior do edifício”.

Compartilhando da mesma opinião, Michels *et al.* (2018) afirmaram que reduzir o ganho térmico através do telhado é uma das melhores abordagens para diminuir o consumo de energia e proporcionar conforto térmico aos usuários de edifícios residenciais ou comerciais de um andar. Coelho, Gomes e Dornelles (2017) também acrescentaram que o desempenho térmico do envelope construtivo irá influenciar significativamente na eficiência energética dos edifícios.

Segundo Habibi, Obonyo e Memari (2019, p.02):

“A minimização da transferência de calor para a construção é um fator essencial para promover a conservação de energia. Além dos sistemas de envelopes, os telhados também podem dar uma contribuição significativa para reduzir a convecção de calor e as perdas de energia. Em termos de benefícios ambientais, o desenvolvimento de sistemas adequados de modernização de coberturas pode reduzir o efeito de ilha de calor urbano e proteger os edifícios da radiação solar diretamente. Portanto, é importante desenvolver intervenções sociotécnicas e de sustentabilidade adequadas para estratégias sólidas para sistemas de modernização de coberturas”.

Kachkouch *et al.* (2018) afirmaram que existem várias técnicas passivas para o telhado da construção que melhoram o conforto térmico interno e reduzem o consumo de energia do ar condicionado

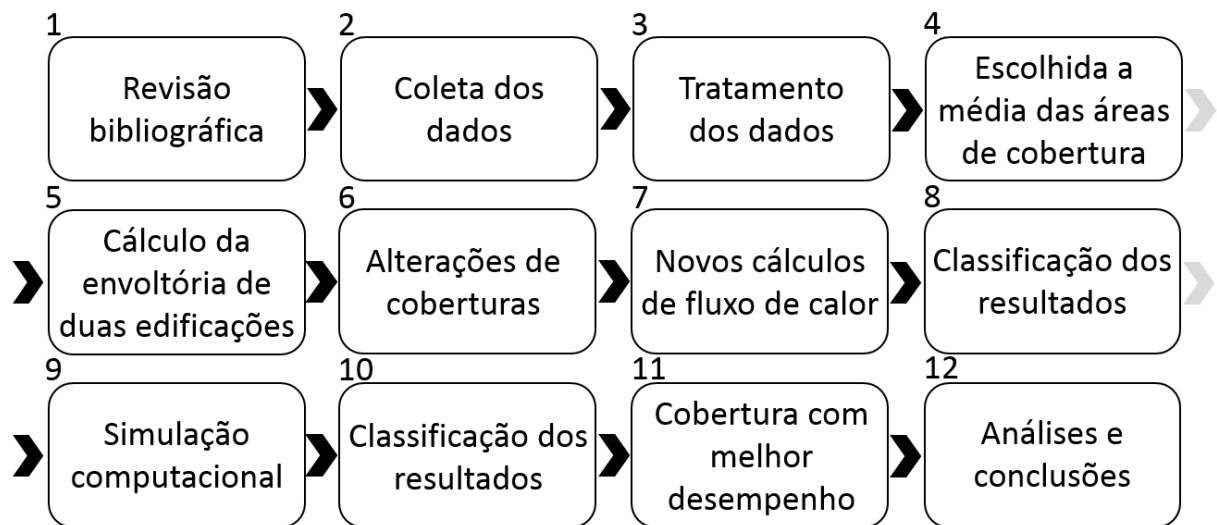
Segundo Adamczyk e Dylewskib (2017) o isolamento térmico de edificações tem impacto significativo na melhoria da qualidade em termos ambientais, sociais e econômicos.

O fluxo de calor através do telhado pode ser reduzido usando o isolamento apropriado, assim como os níveis crescentes de isolamento têm um efeito mais significativo na redução do ganho de calor na condução externa, que é o principal modo de transferência de calor através da envolvente do edifício (HABIBI; OBONYO; MEMARI, 2019).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por etapas, iniciando pela revisão bibliográfica, seguido pelo levantamento e tratamento dos dados, escolha de uma dimensão de cobertura que represente a média dos galpões do município (dimensão padrão), cálculo do desempenho térmico da envoltória de duas edificações para descobrir qual parte da envoltória apresenta maior influência no conforto térmico dos usuários. Então, foram realizadas alterações nos tipos de estruturas e materiais que compõem a cobertura, refeitos os cálculos de fluxo de calor com essas novas estruturas e classificou-se os resultados obtidos. Posteriormente, utilizou-se as estruturas com melhores desempenhos nos cálculos de fluxo de calor para simulação computacional e, a partir delas, foram classificados os resultados obtidos. Por fim, encontrou-se a cobertura com melhor desempenho térmico e, conseqüentemente, a que propicia melhor conforto aos seus usuários. A Figura 8 demonstra as etapas da metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma.

Figura 8 - Fluxograma de etapas da metodologia utilizada na pesquisa



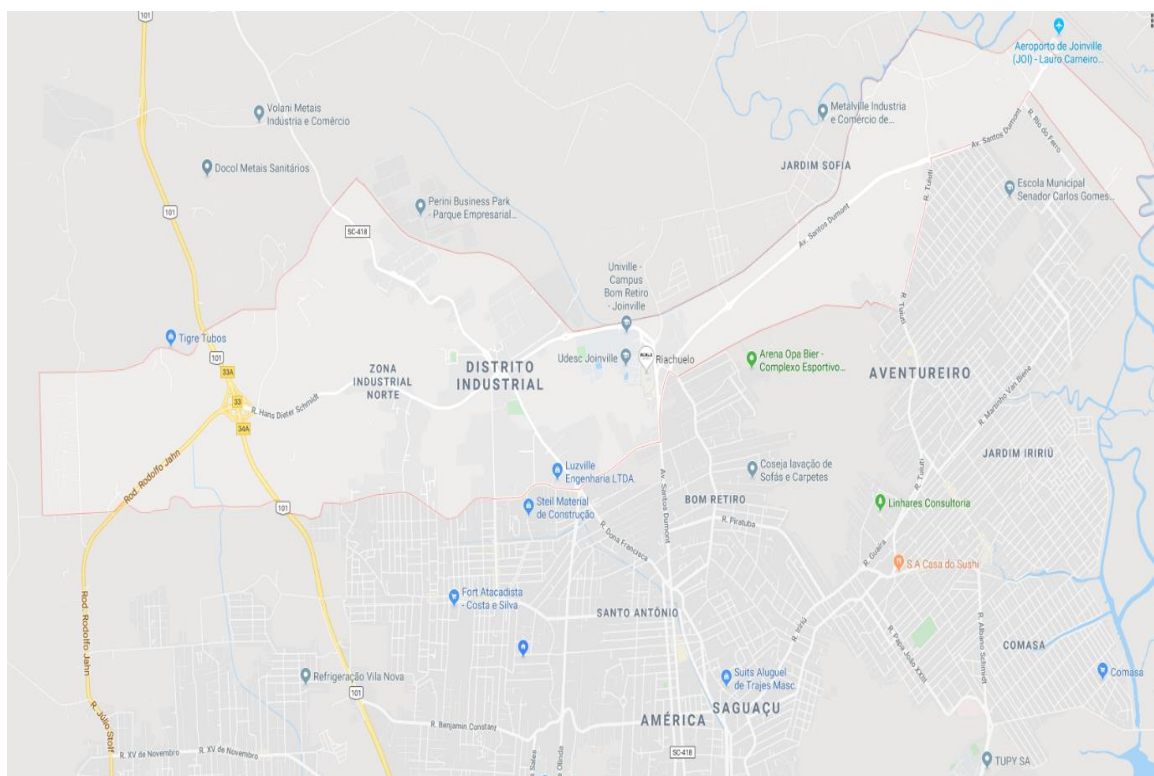
Fonte: Autor

A revisão bibliográfica foi realizada através de pesquisas com material disponível nos sites de entidades responsáveis pelos estudos, no portal da CAPES, em revistas, livros e artigos referentes ao tema disponíveis em sites e bibliotecas.

Em paralelo com a revisão bibliográfica, foi realizada a coleta de informações por meio do *software* Google Maps, buscando conhecer as dimensões das estruturas físicas de cobertura das indústrias de Joinville.

Inicialmente, para escolha das indústrias, foi pré-estabelecido edificações situadas na região norte do município de Joinville e localizadas no distrito industrial, onde há grande proximidade e concentração de indústrias. E para localização e identificação destas empresas foi utilizado o *software* Google Maps, a Figura 9 apresenta o distrito industrial de Joinville, onde estão situadas as indústrias utilizadas para pesquisa e análise.

Figura 9 - Distrito industrial de Joinville



Fonte: Google Maps (2019)

A partir das empresas pré-estabelecidas, iniciou-se as medições das coberturas dos galpões, tem sido utilizada a ferramenta de medição do *software* Google Maps para estimar as dimensões de comprimento, largura e, disponibilizado pelo *software*, área de cobertura de cada estrutura física. A Figura 10 exemplifica o método de medição utilizado, expondo as dimensões de cobertura, incluindo área e perímetro.

Figura 10 - Exemplo de medição usando *software* Google Maps



Fonte: Adaptado do Google Maps (2019)

De posse das medições das áreas efetuadas, utilizou-se análise estatística para determinar qual dimensão de cobertura dos galpões industriais melhor representa a realidade do município, e denominando-a de edificação padrão.

A partir desta, selecionou-se duas edificações existentes, com área equivalente à área da edificação padrão, de forma aleatória dentro das amostras, e fixou-se as características da envoltória (dimensões, número e posição de esquadrias e área de cobertura). Assim, sendo os materiais que compõem a envoltória a única diferença entre elas, possibilitou-se uma melhor comparação dos resultados.

Com a definição das duas edificações, partiu-se para o cálculo do desempenho térmico da envoltória, avaliando-se qual superfície, fachadas ou cobertura, possui maior influência no conforto térmico do usuário. Ressalta-se que

foram escolhidas duas edificações para os cálculos para confirmar que os resultados obtidos fossem confiáveis e se repetissem para mais de uma análise.

O cálculo do desempenho térmico foi realizado através das fórmulas de transferência de calor em superfícies opacas e transparentes, e assim determinou-se qual o calor presente nas superfícies verticais (fachadas) e superfícies horizontais (cobertura) das edificações.

3.1 CALCULO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA

3.1.1 Método para determinação do fluxo de calor em superfícies opacas verticais (paredes)

O cálculo da densidade do fluxo de calor em superfícies opacas verticais é determinado através da Equação 4 segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.218).

$$q = U \times (t_{\text{SOL-AR}} + t_{\text{EXT}} - t_{\text{INT}}) \text{ e } t_{\text{SOL-AR}} = \alpha \times I \times R_{\text{SE}} - \varepsilon \times \Delta R_{\text{L}} \times R_{\text{SE}} \quad (4)$$

Onde: q : Densidade do fluxo de calor (W/m^2);
 U : Transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);
 $t_{\text{SOL-AR}}$: Temperatura Sol-Ar;
 t_{EXT} : Temperatura externa (K);
 t_{INT} : Temperatura interna (K);
 α : Absortância da superfície externa do material;
 I : Radiação solar (W / m^2);
 R_{SE} : Resistência superficial externa ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);
 ε : Emissividade do material;
 ΔR_{L} : Diferença entre radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície.

Contudo, a variável ΔR_{L} é igual a zero para superfícies verticais devido às perdas compensadas pela radiação de onda longa recebida pelo solo e das superfícies do meio (LAMBERTS, 2018).

Na Equação 4 anterior, encontram-se diversas variáveis que influenciam diretamente no dimensionamento da densidade do fluxo de calor nas superfícies opacas, sendo elas conceituadas de acordo com as definições subsequentes.

A transmitância térmica (U) da superfície indica o comportamento em relação à transmissão de calor para o interior do ambiente, sendo definida como o inverso da resistência térmica total. Depende principalmente das camadas que constituem a

parede, pois cada material constituinte apresenta uma resistência térmica própria (CEF, 2010).

A Tabela 4 apresenta valores de “U” para alguns fechamentos.

Tabela 4 – Transmitância térmica (U) para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K
Paredes	Leve	U ≤ 3,00
	Leve refletora	U ≤ 3,60
	Pesada	U ≤ 2,20
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00
	Leve refletora	U ≤ 2,30.FT
	Pesada	U ≤ 2,00

Fonte: ABNT (2005c)

A Tabela 5 expõe os valores de Rse em relação as direções do fluxo de calor.

Tabela 5 - Resistência superficial externa (Rse)

R _{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente
0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT (2005b)

Após o conhecimento das variáveis presentes na Equação 4, calcula-se a densidade do fluxo de calor e, através do produto pela área da superfície em estudo, encontra-se o valor do fluxo térmico total de cada plano vertical analisado. A partir deste resultado, tem-se o valor total de energia, em *watts*, incidente na superfície referenciada.

3.1.2 Método para determinação do fluxo de calor em materiais transparentes

Semelhante ao dimensionamento do fluxo de calor em superfícies opacas, o valor da densidade do fluxo em materiais transparentes é dado pela seguinte Equação 5 segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.222):

$$q = U \times (t_{EXT} - t_{INT}) + F_S \times I \quad (5)$$

Onde: q : Densidade do fluxo de calor (W/m^2)
 U : Transmitância térmica ($W/m^2 \cdot K$)
 t_{EXT} : Temperatura externa (K)
 t_{INT} : Temperatura interna (K)
 F_S : Fator solar (W)
 I : Radiação solar (W / m^2)

Além das variáveis já explicadas no item anterior (3.1), tem-se ainda o Fator Solar (F_S) que segundo Lambert, Dutra e Pereira (2014), pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. Os valores de F_S são dados conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de Fator Solar (F_S) para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Fator solar - FS_o
		%
Paredes	Leve	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: ABNT (2005c)

Após o cálculo da densidade do fluxo de calor nos materiais transparentes mediante a Equação 5, a mesma é multiplicada pela área da abertura de interesse para resultar no fluxo de energia total daquela estrutura em *watts*.

3.1.3 Método para determinação do fluxo de calor total de cada fachada de uma edificação

Posteriormente ao dimensionamento dos fluxos de calor total das superfícies opacas e materiais transparentes, foi feita a determinação do fluxo total da fachada em análise (superfície opaca + superfície transparente). Para isso, foi realizada a ponderação das superfícies de acordo com suas respectivas áreas e transferências de calor, conforme expõe a Equação 6.

$$Q_{TOTAL} = \frac{q_{parede} \times A_{parede} + q_{abertura} \times A_{abertura}}{A_{parede} + A_{abertura}} \quad (6)$$

Com isso, tem-se o valor total de energia térmica em watts que atravessa uma composição de dois tipos de superfície diferentes de um mesmo ambiente.

3.1.4 Método para determinação do fluxo de calor em superfícies opacas horizontais (coberturas)

O dimensionamento do fluxo de calor em superfícies opacas horizontais é semelhante ao de planos verticais. Usa-se igualmente a Equação 4, porém diferindo que a variável ΔR_L possui valor numérico diferente de zero para planos horizontais. Segundo Lamberts (2018), o segundo termo do cálculo da temperatura Sol-Ar (t_{SOL-AR}) é igual a quatro graus centígrados através de dados experimentais, conforme demonstra a Equação 7. Por isso, a densidade do fluxo térmico em superfícies opacas horizontais é dada pela Equação 8 adaptada a seguir.

$$t_{SOL-AR} = \alpha \times I \times R_{SE} - 4 \quad (7)$$

$$q = U \times (t_{EXT} + \alpha \times I \times R_{SE} - 4 - t_{INT}) \quad (8)$$

Assim, obteve-se o valor total do fluxo de energia em *watts* na superfície horizontal (cobertura) da edificação realizando o produto da densidade recém calculada pela área do plano em análise.

3.1.5 Método comparativo entre as fachadas e coberturas da edificação

Por meio dos valores dos fluxos energéticos totais das fachadas e cobertura da edificação, foi realizada uma compilação dos resultados em uma única tabela na qual ficou evidente a parte da envoltória com maior e menor influência no desempenho térmico da edificação.

3.2 MODIFICAÇÃO DE ESTRUTURA DE ENVOLTÓRIA

Através dos resultados encontrados nos cálculos de desempenho térmico, determinou-se o local de maior relevância no fluxo de calor da edificação e, a partir dele, foram propostas alterações construtivas visando melhorias no conforto dos usuários.

Foram escolhidas alterações de estrutura da envoltória e refeitos os cálculos de fluxo de calor somente na superfície determinada. Para essas novas operações, foi utilizado apenas uma das duas estruturas previamente analisadas, em vista que as duas edificações possuem as mesmas características de envoltória, alternando unicamente os materiais que, para o cálculo da estrutura, são determinados previamente com as alterações propostas.

Vale ressaltar que as alterações foram feitas apenas no local pré-estabelecido com maior fluxo de calor, pois será nele que as trocas de materiais resultarão em melhorias mais significativas aos usuários.

3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS

Após o cálculo do fluxo de calor nas novas estruturas de superfície propostas, classificou-se quais as modificações que melhor apresentaram ganhos de conforto aos usuários.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INFORMAÇÕES DAS EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS DE JOINVILLE

A obtenção dos dados iniciou-se fazendo uso do *software* Google Maps, em que foi visualizado por satélite a zona industrial norte de Joinville em busca de galpões industriais para realizar as medições das áreas de cobertura. Concluída a coleta das informações, foram encontradas 140 edificações e determinadas suas áreas de cobertura. A Tabela 7 apresenta as áreas encontradas após as medições. Vale ressaltar que as áreas estão dispostas aleatoriamente conforme sua medição e foram desconsideradas as casas decimais devido a irrelevância para o estudo.

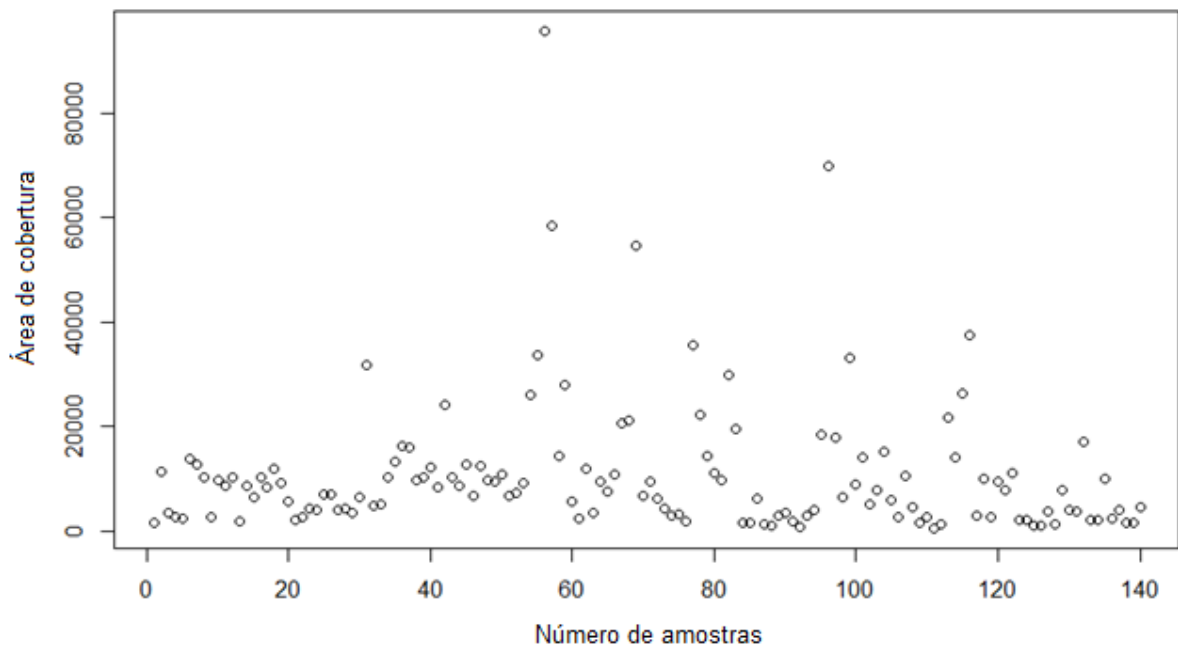
Tabela 7 - Áreas de cobertura medidas

Áreas de cobertura (m²)						
1.737	2.263	8.272	2.338	9.730	14.155	7.747
11.286	2.694	24.270	11.984	29.898	5.136	11.235
3.619	4.464	10.366	3.628	19.635	7.772	2.048
2.681	4.147	8.562	9.531	1.637	15.233	2.035
2.438	7.005	12.802	7.639	1.570	5.928	1.100
13.874	7.056	6.801	10.731	6.214	2.637	1.055
12.696	3.992	12.356	20.697	1.329	10.480	3.859
10.334	4.337	9.824	21.179	1.137	4.734	1.324
2.687	3.449	9.455	54.558	2.993	1.681	7.942
9.868	6.491	10.900	6.759	3.469	2.734	4.165
8.757	31.883	6.746	9.432	1.957	632	3.797
10.256	4.771	7.404	6.238	821	1.452	17.187
1.809	5.263	9.295	4.291	3.065	21.734	2.080
8.712	10.339	26.117	2.972	4.194	13.986	2.103
6.509	13.182	33.787	3.260	18.440	26.474	10.102
10.291	16.186	95.604	1.895	69.798	37.406	2.300
8.427	16.102	58.443	35.586	17.967	2.882	3.957
11.973	9.849	14.454	22.389	6.595	9.941	1.487
9.208	10.343	27.997	14.252	33.253	2.610	1.714
5.757	12.218	5.801	11.194	8.894	9.455	4.638

Fonte: Autor

Com todas as amostras medidas e organizadas, utilizou-se o *software* RStudio de estatística para o tratamento e apresentação dos dados. Inicialmente foram utilizadas as amostras sem qualquer alteração e apresentadas por meio de gráfico de pontos, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Distribuição aleatória das áreas de cobertura medidas



Fonte: Autor

Com as áreas coletadas e dispostas, foi realizado o cálculo da média, mediana e desvio padrão para avaliar como os valores se comportam, A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

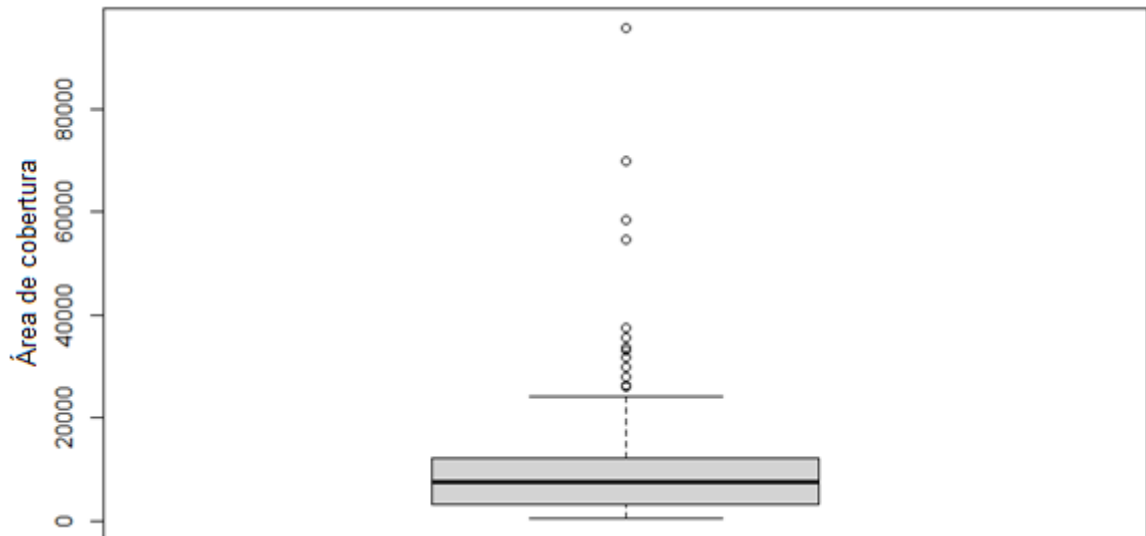
Tabela 8 - Resultados de média, mediana e desvio padrão das amostras

Média:	10.859
Mediana:	7.693
Desvio padrão:	13.079

Fonte: Autor

A partir dos resultados obtidos, e sabendo que as amostras não apresentam distribuição normal, então formou-se o boxplot para verificar os *outliers* do conjunto de amostras, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Boxplot das áreas de cobertura medidas



Fonte: Autor

Observando-se o boxplot, notou-se que existem diversos *outliers* no conjunto das amostras. Diante disso, decidiu-se fazer a exclusão dos dados presentes a cima do limite superior máximo do boxplot (*outliers*). Observa-se também que não existem pontos menores que o limite inferior mínimo, assim não sofreram alteração.

Para a exclusão dos dados, é necessário determinar qual o valor do limite superior máximo do boxplot, e esse valor é dado pela Equação 9.

$$\text{Limite superior} = Q3 + 1,5 (Q3 - Q1) \quad (9)$$

Onde: Q1: Primeiro quartis do boxplot

Q3: Terceiro quartis do boxplot

Assim, por meio da Equação 9 e os quartis de Q1 e Q3 dados pela Tabela 9, encontra-se que o limite superior do boxplot é 25.288,5. Desse modo, todas as áreas de cobertura acima deste limite serão excluídas do conjunto das amostras.

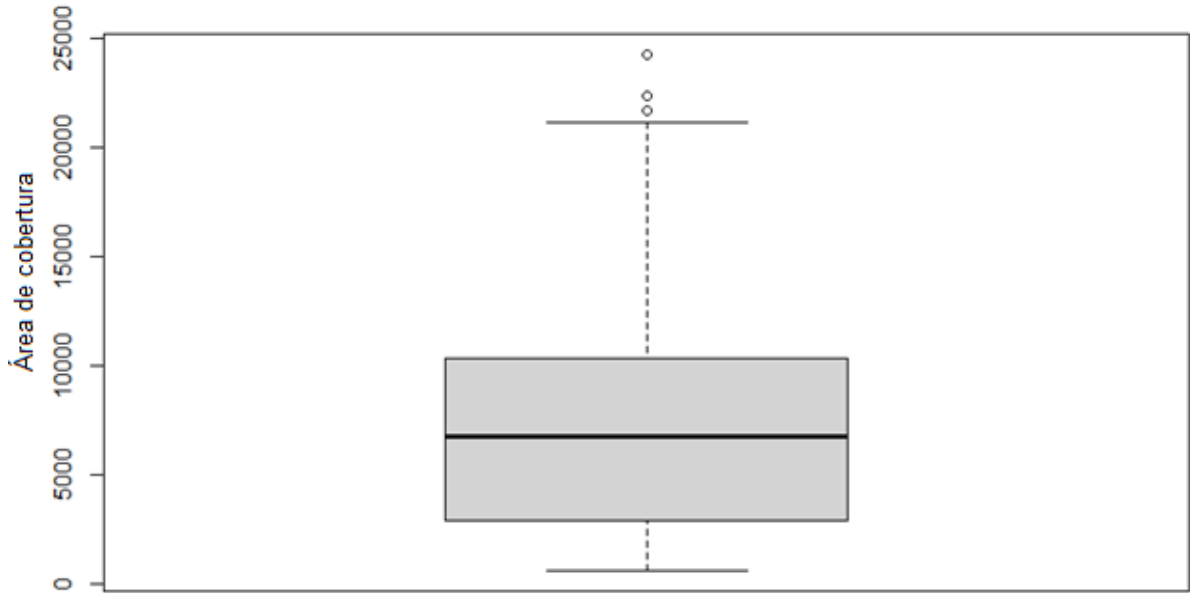
Tabela 9 - Valores de primeiro e terceiro quartis do boxplot

Q1	3.211
Q3	12.042

Fonte: Autor

Após a retirada dos valores maiores que o limite superior máximo calculado, realizou-se um novo boxplot (chamado boxplot 2) para conferir se com o novo conjunto de amostras não existem outliers, a Figura 13 apresenta o resultado.

Figura 13 - Boxplot 2 das áreas de cobertura tratadas



Fonte: Autor

Por meio do boxplot 2 percebeu-se que ainda existem outliers, por isso, calculou-se novamente o limite superior máximo do boxplot para fazer as devidas exclusões. Através da Equação 9 e os dados da Tabela 10 determinou-se que o novo limite máximo para corte das amostras será de 21.462.

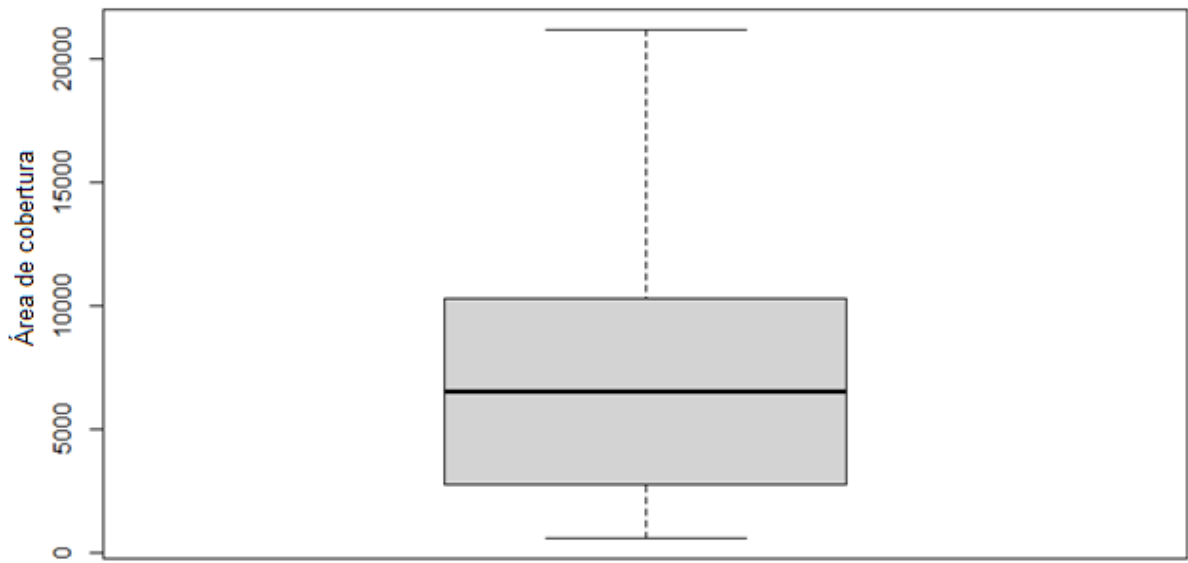
Tabela 10 - Valores de primeiro e terceiro quartis do boxplot 2

Q1	2.927
Q3	10.341

Fonte: Autor

Após a segunda retirada dos valores maiores que o limite superior máximo calculado, realizou-se um novo boxplot (chamado boxplot 3) para conferir se com o novo conjunto de amostras não existem outliers, a Figura 14 apresenta o resultado.

Figura 14- Boxplot 3 das áreas de cobertura tratadas



Fonte: Autor

Conforme observado no boxplot 3, é possível perceber que após o segundo corte no conjunto de amostras não são identificados mais nenhum outlier. Por isso, foi realizado novo cálculo da média, mediana e desvio padrão do conjunto das amostras para avaliar como os valores se comportam, a Tabela 11 mostra o resultado.

Tabela 11 - Resultados de média, mediana e desvio padrão das amostras após o segundo corte (em m²)

Média:	7.186
Mediana:	6.552
Desvio padrão:	4.879

Fonte: Autor

Através dos resultados obtidos, percebe-se que houve uma redução significativa na diferença entre a média e mediana das amostras e o desvio padrão também sofreu considerável redução, diminuindo de 13.079 para 4.879. A Tabela 12 mostra as áreas de cobertura presentes no conjunto de amostras após as reduções, o número de amostras contraiu de 140 para 124 unidades.

Tabela 12 - Áreas de cobertura após o tratamento das amostras distribuídas de forma crescente

Áreas de cobertura (m ²)					
632	2.263	3.957	6.746	9.531	12.218
821	2.300	3.992	6.759	9.730	12.356
1.055	2.338	4.147	6.801	9.824	12.696
1.100	2.438	4.165	7.005	9.849	12.802
1.137	2.610	4.194	7.056	9.868	13.182
1.324	2.637	4.291	7.404	9.941	13.874
1.329	2.681	4.337	7.639	10.102	13.986
1.452	2.687	4.464	7.747	10.256	14.155
1.487	2.694	4.638	7.772	10.291	14.252
1.570	2.734	4.734	7.942	10.334	14.454
1.637	2.882	4.771	8.272	10.339	15.233
1.681	2.972	5.136	8.427	10.343	16.102
1.714	2.993	5.263	8.562	10.366	16.186
1.737	3.065	5.757	8.712	10.480	17.187
1.809	3.260	5.801	8.757	10.731	17.967
1.895	3.449	5.928	8.894	10.900	18.440
1.957	3.469	6.214	9.208	11.194	19.635
2.035	3.619	6.238	9.295	11.235	20.697
2.048	3.628	6.491	9.432	11.286	21.179
2.080	3.797	6.509	9.455	11.973	
2.103	3.859	6.595	9.456	11.984	

Fonte: Autor

A partir das áreas, números de amostras e desvio padrão determinados, calculou-se o intervalo de confiança das amostras. A Tabela 13 apresenta os limites obtidos para um nível de significância de 5%.

Tabela 13 - Cálculo do intervalo de confiança

Desvio padrão:	4.879
α	0,05
número de amostras	124
Margem de erro	867,26
Intervalos de confiança	
Inferior	6319
Superior	8054

Fonte: Autor

Logo, pode-se afirmar que a média das áreas de cobertura de galpões do município possui 95% de chance de estar dentro do intervalo de 6.319 m² e 8.054 m² por meio das amostras coletadas. Para o cálculo do desempenho térmico da envoltória, decidiu-se atribuir a área de 7.186 m², correspondente à média das amostras.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DAS EDIFICAÇÕES ESCOLHIDAS

As duas edificações industriais escolhidas para determinação do local de maior relevância em relação ao conforto dos usuários estão localizadas na cidade de Joinville-SC (latitude 28°18'16" – Sul). A primeira foi construída com estrutura de concreto, paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos (9,0x14,0x24) rebocados, com espessura final de parede com 14cm, pintados na cor branca e cobertura com laje de concreto, estrutura de madeira e telhas de fibrocimento. A segunda edificação também possui estrutura de concreto, porém suas paredes foram construídas com blocos de concreto (9,0x19,0x39,0) rebocados, com espessura final de parede com 14cm,, pintadas na cor verde escuro e cobertura sem laje com estrutura de madeira, telhas de fibrocimento e forro de PVC. A partir das dimensões da edificação que corresponde à média das áreas de cobertura (7.186 m²), criou-se a Tabela 14 com as áreas de superfícies de parede e aberturas por fachada, juntamente com a área de cobertura, utilizou-se pé-direito de 14m para os cálculos. Vale ressaltar que estas dimensões foram atribuídas utilizando a área de cobertura determinada e dimensões proporcionais de aberturas das edificações existentes, e essas características foram utilizadas para o cálculo das duas edificações.

Tabela 14 - Dimensões da estrutura física das edificações

Local	Área superfície (m2)	Área abertura vidro simples (m2)
Norte	1.418,20	118,80
Sul	1.450,60	86,40
Leste	1.433,60	0,00
Oeste	1.433,60	0,00
Cobertura	7.186,00	-

Fonte: Autor

4.3 CALCULO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO

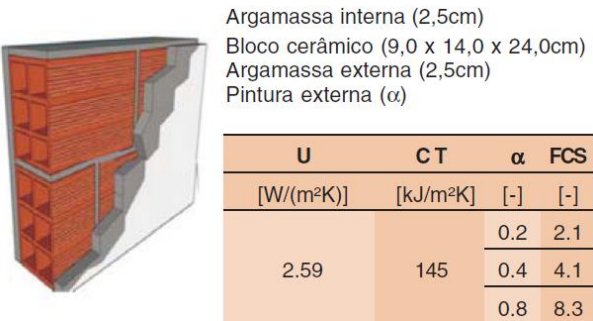
4.3.1 Determinação do fluxo de calor em superfícies opacas verticais (paredes)

Para o cálculo da densidade do fluxo energético foi utilizada a Equação 4 descrita no item 3.1, porém é necessário determinar as variáveis de acordo com a realidade dos objetos de estudo antes de inseri-las na fórmula.

Por meio das Figura 15 e Figura 16 que expõem as propriedades térmicas do conjunto de materiais que compõem a alvenaria de vedação das edificações analisadas, determinou-se os valores da Transmitância Térmica (U) e Absortância (α).

- Edificação 1: Paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos (9,0x14,0x24) rebocados e pintados na cor branca.

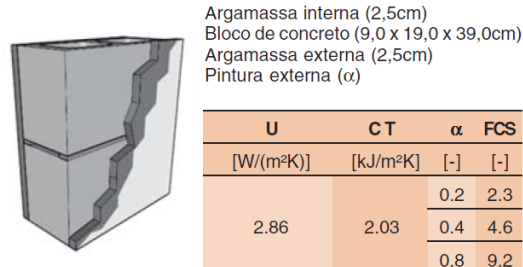
Figura 15 - Propriedades térmicas de parede - Edificação 1



Fonte: CEF (2010, p.98)

- Edificação 2: Paredes em alvenaria de blocos de concreto (9,0x19,0x39,0), rebocados e pintados na cor verde escuro.

Figura 16 - Propriedades térmicas de parede - Edificação 2



Fonte: CEF (2010, p.98)

Segundo Frota e Schiffer (2001) a radiação solar incidente, de acordo com as fachadas, dias e horários, é exposta pela Tabela 15. Considerando a latitude de 25° Sul que melhor se aproxima da realidade da cidade de Joinville-SC (26°18'16" – Sul).

Tabela 15 - Dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais (W/m²). Latitude 25° Sul

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	
S	123	197	186	137	84	68	63	68	84	137	186	197	123	dezembro 22
SE	280	540	611	539	397	222	63	68	63	58	50	38	20	
E	285	588	707	659	515	304	63	68	63	58	50	38	20	
NE	134	314	419	427	367	249	88	68	63	58	50	38	20	
N	20	38	50	58	63	87	98	87	63	58	50	38	20	
NW	20	38	50	58	63	68	88	249	367	427	419	314	134	
W	20	38	50	58	63	68	63	304	515	659	707	588	285	
SW	20	38	50	58	63	68	63	222	397	539	611	540	280	
H	87	289	579	813	986	1110	1137	1110	986	813	579	289	87	
S	0	28	45	53	60	63	65	63	60	53	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	16	283	376	300	146	63	65	63	60	53	45	28	0	
E	23	437	665	659	528	314	65	63	60	53	45	28	0	
NE	16	351	591	669	636	524	362	169	60	53	45	28	0	
N	0	76	198	314	406	464	485	464	406	314	198	76	0	
NW	0	28	45	53	60	169	362	524	636	669	591	351	16	
W	0	28	45	53	60	63	65	314	528	659	665	437	23	
SW	0	28	45	53	60	63	65	63	146	300	376	283	16	
H	0	153	404	659	856	973	1016	973	856	659	404	153	0	
S	—	5	30	45	50	53	53	53	50	45	30	5	—	junho 21
SE	—	22	106	49	50	53	53	53	50	45	30	5	—	
E	—	54	389	492	410	263	53	53	50	45	30	5	—	
NE	—	58	461	673	699	644	518	360	190	45	30	5	—	
N	—	28	281	487	608	688	711	688	608	487	281	28	—	
NW	—	5	30	45	190	360	518	644	699	673	461	58	—	
W	—	5	30	45	50	53	53	263	410	492	389	54	—	
SW	—	5	30	45	50	53	53	50	49	106	22	—	—	
H	—	12	168	357	463	526	538	526	463	357	168	12	—	

Fonte: Frota e Schiffer (2001)

Através da Tabela 5 , presente no item 3.1, pode-se afirmar que o valor da Resistência superficial externa (R_{se}) é de 0,04.

Concluindo a determinação das variáveis, restam atribuir valores para as temperaturas internas e externas. Sendo a primeira adotado o menor valor dentro dos limites de temperatura ideal de 23 a 26 °C para ambientes internos conforme afirma ANVISA (2003). Já a segunda, determinada por meio da Tabela 16 na qual são apresentados os dados climáticos da cidade de Joinville. Dentre as temperaturas máximas ($T_{máx}$) registradas durante o ano, selecionou-se a maior identificada no mês de março ($T_{máx} = 35,7$ °C) para realização dos cálculos.

Tabela 16 - Dados climáticos da cidade de Joinville-SC

Mês	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)
Jan	34,80	20,70	26,30	79,08	1010
Fev	34,70	20,70	26,69	78,47	1011
Mar	35,70	21,00	26,71	79,17	1013
Abr	33,10	17,00	23,72	80,89	1015
Mai	30,70	14,00	21,30	80,15	1017
Jun	29,80	11,30	19,33	81,48	1019
Jul	29,20	9,60	18,06	81,45	1019
Ago	30,70	11,30	18,93	79,96	1018
Set	29,50	12,60	19,64	80,35	1017
Out	31,50	15,80	21,86	79,04	1013
Nov	33,30	17,30	23,65	77,08	1012
Dez	34,00	18,70	24,80	77,13	1011

Fonte: Grünberg (2014)

Após determinadas todas as variáveis necessárias para Equação 4 e fazendo uso da segunda coluna da Tabela 14 (áreas de superfície), são calculados os fluxos totais de energia para cada fachada das edificações individualmente, conforme apresentam as Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 17 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas paredes das fachadas da edificação 1

Variáveis	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
U	2,59	2,59	2,59	2,59
A	1.418,20	1.450,60	1.433,60	1.433,60
T ext	35,70	35,70	35,70	35,70
α	0,20	0,20	0,20	0,20
I	711,00	197,00	707,00	707,00
R se	0,04	0,04	0,04	0,04
T int	23,00	23,00	23,00	23,00
q (W)=	67.541,66	53.635,70	68.156,27	68.156,27

Fonte: Autor

Tabela 18 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas paredes das fachadas da edificação 2

Variáveis	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
U	2,86	2,86	2,86	2,86
A	1.418,20	1.450,60	1.433,60	1.433,60
T ext	35,70	35,70	35,70	35,70
α	0,70	0,70	0,70	0,70
I	711,00	197,00	707,00	707,00
R se	0,04	0,04	0,04	0,04
T int	23,00	23,00	23,00	23,00
q (W)=	132.259,74	75.573,01	133.236,72	133.236,72

Fonte: Autor

4.3.2 Determinação do fluxo de calor em superfícies verticais transparentes (aberturas nas fachadas)

Para o cálculo da densidade do fluxo energético nas aberturas foi utilizada a Equação 6 descrita no item 3.3, porém foi necessário determinar as variáveis de acordo com a realidade dos objetos de estudo antes de inseri-las na fórmula.

Por meio da Tabela 4 presente no item 3.1, pode-se afirmar que a Transmitância Térmica (U) das aberturas da edificação possuem valor de 5,79 W/m². K (Janelas com vidro comum 3mm) para ambas as edificações. Já com relação ao Fator Solar (Fs), pode-se afirmar que é, fazendo uso da Tabela 8, 0,87 para vidros transparentes (simples) 3mm que também são os casos de ambos os objetos de estudo.

Atribui-se para as demais variáveis os mesmos valores do dimensionamento das paredes realizado no item anterior e utilizando as áreas de aberturas da Tabela 14 presente no item 4.1, tem-se os valores dos fluxos de energia nas aberturas conforme expõe a Tabela 19. Vale ressaltar que ambas as edificações possuem o mesmo fluxo de calor nas aberturas, devido a replica das informações referente ao posicionamento e dimensão das aberturas.

Analisando as intensidades dos fluxos de energia pelas aberturas, pode-se perceber como os materiais transparentes influenciam consideravelmente mais no conforto térmico dos usuários em relação as paredes opacas. Além disso, é possível afirmar que as medidas de proteção das aberturas como brises, persianas e venezianas podem contribuir significativamente na redução do aquecimento dos ambientes, visto que as superfícies opacas possuem maior proteção solar do que os materiais transparentes. Vale ressaltar também que essas soluções podem ajudar bastante na redução da temperatura interna do ambiente e, conseqüentemente, reduzir a utilização de resfriamento artificial.

Tabela 19 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total nas aberturas das fachadas das edificações 1 e 2

Variáveis	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
U	5,79	5,79	5,79	5,79
T ext	35,70	35,70	35,70	35,70
T int	23,00	23,00	23,00	23,00
Fs	0,87	0,87	0,00	0,00
I	711,00	197,00	707,00	707,00
A	118,80	86,40	0,00	0,00
q (W)=	82.221,84	21.161,35	0,00	0,00

Fonte: Autor

4.3.3 Determinação do fluxo de calor total nas fachadas das edificações

Os valores totais de transferência de calor pelas fachadas das edificações 1 e 2 estão dispostos conforme as Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 20 - Valores totais de transferência de energia por fachadas da edificação 1

Variáveis	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
q paredes (W)	67.541,66	53.635,70	68.156,27	68.156,27
A parede	1.418,20	1.450,60	1.433,60	1.433,60
q aberturas (W)	82.221,84	21.161,35	0,00	0,00
A abertura	118,80	86,40	0,00	0,00
Total fachada (W)	68.676,34	51.810,21	68.156,27	68.156,27

Fonte: Autor

Tabela 21 - Valores totais de transferência de energia por fachadas da edificação 2

Variáveis	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
q paredes (W)	132.259,74	75.573,01	133.236,72	133.236,72
A parede	1.418,20	1.450,60	1.433,60	1.433,60
q aberturas (W)	82.221,84	21.161,35	0,00	0,00
A abertura	118,80	86,40	0,00	0,00
Total fachada (W)	128.392,14	72.514,35	133.236,72	133.236,72

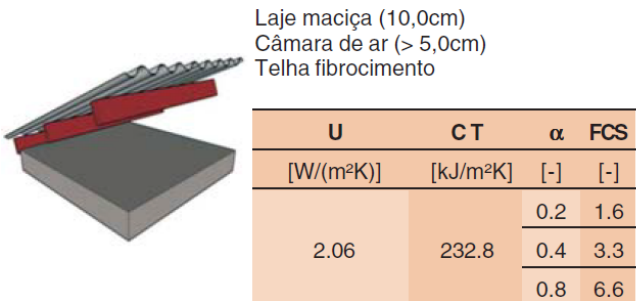
Fonte: Autor

4.3.4 Determinação do fluxo de calor em superfícies opacas horizontais (cobertura)

Para o cálculo da densidade do fluxo energético na cobertura será utilizada a Equação 8 descrita no item 3.4, porém foi necessário determinar as variáveis de acordo com a realidade dos objetos de estudo antes de inseri-las na fórmula.

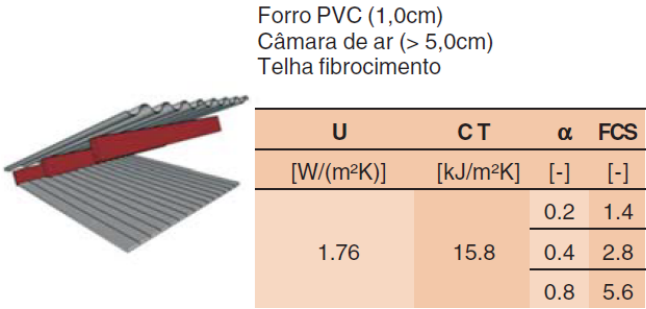
Por meio das Figura 17 e Figura 18 que expõem as propriedades térmicas do conjunto de materiais que compõem a cobertura das edificações analisadas, determinaram-se os valores da Transmitância Térmica (U) e Absortância (α) de cada estrutura.

Figura 17 - Propriedades térmicas da cobertura edificação 1



Fonte: CEF (2010, p.100)

Figura 18 - Propriedades térmicas da cobertura edificação 2



Fonte: CEF (2010, p.100)

As demais variáveis necessárias para o cálculo da densidade do fluxo de energia na superfície horizontal (T_{ext} , T_{int} , R_{se} e I) foram atribuídas nos itens anteriores, através da Equação 8 e utilizando a Tabela 14 com a área da cobertura, tem-se os seguintes valores do fluxo total energético nos telhados, conforme demonstram as Tabela 22 e Tabela 23.

Tabela 22 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total na cobertura da edificação 1

Variáveis	Cobertura
U	2,05
A	7.186,00
T ext	35,70
α	0,80
I	1.137,00
R se	0,04
T int	23,00
q (W)=	664.145,93

Fonte: Autor

Tabela 23 - Variáveis, Áreas e Fluxo de calor total na cobertura da edificação 2

Variáveis	Cobertura
U	1,76
A	7.186,00
T ext	35,70
α	0,80
I	1.137,00
R se	0,04
T int	23,00
q (W)=	570.193,58

Fonte: Autor

4.3.5 Comparação entre as fachadas e coberturas das edificações

Através dos cálculos realizados, chegou-se aos seguintes resultados finais conforme expõem as Tabela 24 e Tabela 25. Por meio delas, percebeu-se o quanto a cobertura tem maior ganho de calor em relação as fachadas. Sua transmissão de calor é significativamente maior do que a soma dos fluxos de todas as fachadas (72% e 55%, nas edificações 1 e 2 respectivamente), para ambas as edificações. Por isso, pode-se afirmar que as alternativas construtivas mais eficientes para cobertura são de grande importância para o conforto dos usuários, principalmente em edificações industriais, onde a cobertura possui áreas geralmente muito maiores que as fachadas.

Tabela 24 - Resultados finais de fluxo energético em relação aos locais da edificação 1

Locais	Q total (W)	Percentual em relação ao total
Fachada Norte	68.676,34	7,46%
Fachada Sul	51.810,21	5,63%
Fachada Leste	68.156,27	7,40%
Fachada Oeste	68.156,27	7,40%
Cobertura	664.145,93	72,12%
TOTAL	920.945,02	100%

Fonte: Autor

Tabela 25 - Resultados finais de fluxo energético em relação aos locais da edificação 2

Locais	Q total (W)	Percentual em relação ao total
Fachada Norte	128.392,14	12,37%
Fachada Sul	72.514,35	6,99%
Fachada Leste	133.236,72	12,84%
Fachada Oeste	133.236,72	12,84%
Cobertura	570.193,58	54,95%
TOTAL	1.037.573,51	100%

Fonte: Autor

4.4 MODIFICAÇÕES DE ESTRUTURA DE COBERTURA

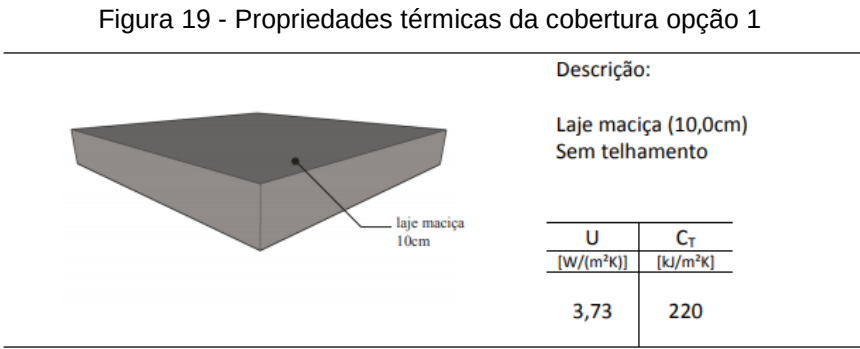
Concluído o cálculo do fluxo de calor na envoltória das edificações, e confirmando a cobertura como estrutura de maior relevância no conforto térmico dos usuários, seguiu-se para as modificações de estruturas de cobertura e novos cálculos de fluxo de calor para cada estrutura individualmente, utilizando a área de cobertura determinada no item 4.1.

Para o cálculo do fluxo energético nas coberturas será utilizada a Equação 8 descrita no item 3.4, porém atualizou-se as variáveis de acordo com cada estrutura escolhida. As figuras presentes nos itens expõem as propriedades térmicas do conjunto de materiais que compõem as coberturas de cada opção analisada. Nestas figuras atribuíram-se os valores da Transmitância Térmica (U) e atribui-se os valores de Absortância (α) para cada caso. Todas as estruturas foram consideradas novas e sem qualquer desgaste e deterioração gerados pelo tempo.

As demais variáveis necessárias para o cálculo do fluxo de calor (T_{ext} , T_{int} , R_{se} e I) foram atribuídas nos itens anteriores.

Segue-se para os cálculos das opções selecionadas:

4.4.1 Opção 1 - Laje maciça em concreto aparente sem cobertura



Fonte: INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absortância devido ao concreto aparente, considerado o pior caso da tabela 4.

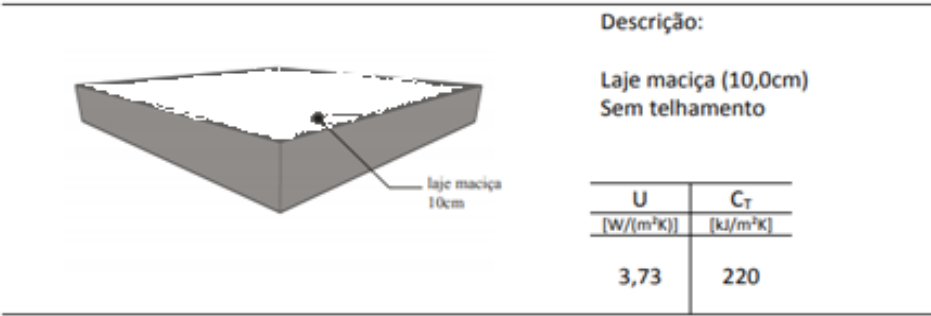
Tabela 26 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 1

Cobertura			
U	3,73	Transmitância térmica	
A	7.186,00	Área da superfície	
T ext	35,70	Temperatura externa	
α	0,80	absortância do material	
I	1.137,00	Radiação incidente	
R se	0,04	Resistencia superficial externa	
T int	23,00	Temperatura interna	
φ=	1.208.421,62	W	

Fonte: Autor

4.4.2 Opção 2 - Laje maciça em concreto aparente com pintura branca sem cobertura

Figura 20 - Propriedades térmicas da cobertura opção 2



Fonte: Adaptado de INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,20 para absortância devido ao concreto aparente pintado de branco (tabela 4).

Tabela 27 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 2

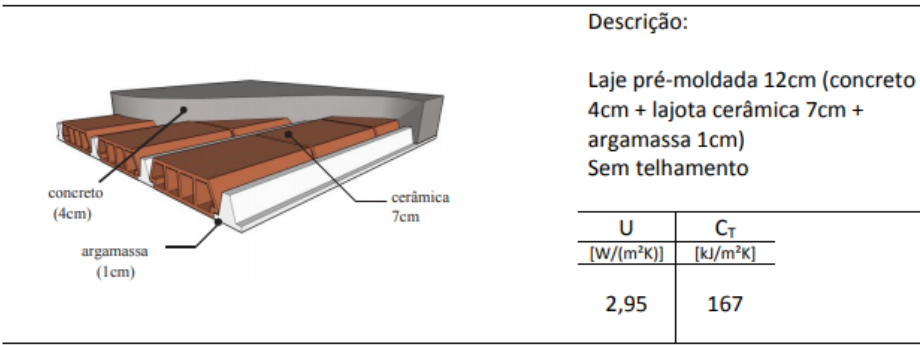
Cobertura		
U	3,73	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,20	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
$\varphi=$	477.000,07	W

Fonte: Autor

Para esta opção ressalva-se a necessidade de manutenção da cor branca na cobertura, caso a mesma não seja limpa regularmente perderá as propriedades refletivas e se assemelhará, após longo período, ao concreto aparente com $\alpha = 0,80$.

4.4.3 Opção 3 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica em concreto aparente sem cobertura

Figura 21 Propriedades térmicas da cobertura opção 3



Fonte: INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absortância devido ao concreto aparente, considerado o pior caso da tabela 4.

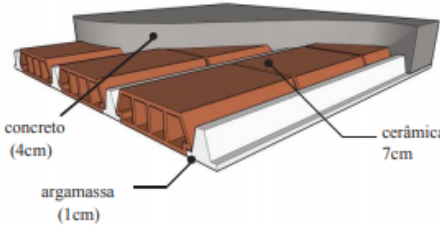
Tabela 28 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 3

Cobertura		
U	2,95	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
$\varphi =$	955.722,19	W

Fonte: Autor

4.4.4 Opção 4 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com pintura branca sem cobertura

Figura 22 - Propriedades térmicas da cobertura opção 4

Descrição:	
 concreto (4cm) argamassa (1cm) cerâmica 7cm	
Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) Sem telhamento	
U	C _T
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]
2,95	167

Fonte: INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,20 para absortância devido ao concreto aparente pintado de branco (tabela 4).

Tabela 29 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 4

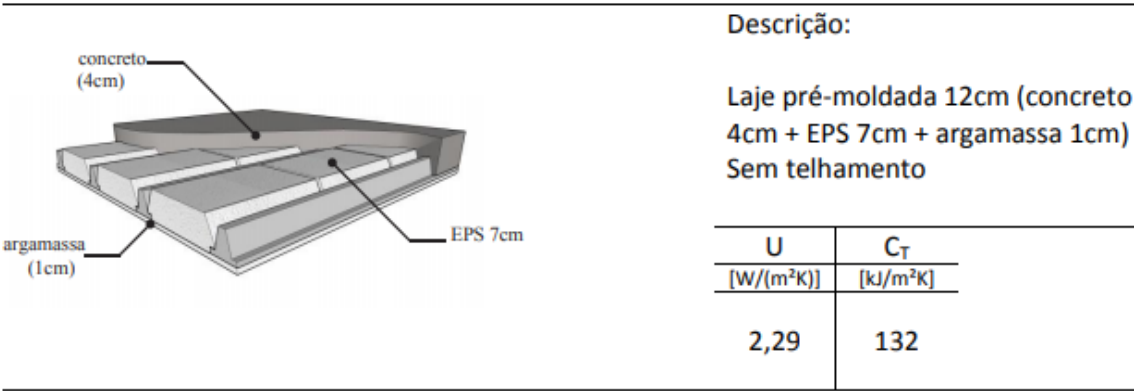
Cobertura		
U	2,95	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,20	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	377.252,07	W

Fonte: Autor

Para esta opção ressalva-se a necessidade de manutenção da cor branca na cobertura, caso a mesma não seja limpa regularmente perderá as propriedades refletivas e se assemelhará, após longo período, ao concreto aparente com $\alpha = 0,80$.

4.4.5 Opção 5 – Laje pré-moldada com EPS em concreto aparente sem cobertura

Figura 23 - Propriedades térmicas da cobertura opção 5



Fonte: INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absortância devido ao concreto aparente, considerado o pior caso da tabela 4.

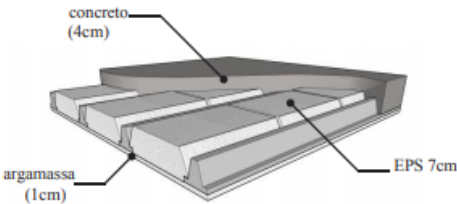
Tabela 30 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 5

Cobertura		
U	2,29	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
$\phi =$	741.899,60	W

Fonte: Autor

4.4.6 Opção 6 – Laje pré-moldada com EPS com pintura branca sem cobertura

Figura 24 - Propriedades térmicas da cobertura opção 6

Descrição:	
	
Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm) Sem telhamento	
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]
2,29	132

Fonte: INMETRO (2013, p.15)

Atribuiu-se o valor de 0,20 para absortância devido ao concreto aparente pintado de branco (tabela 4).

Tabela 31 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 6

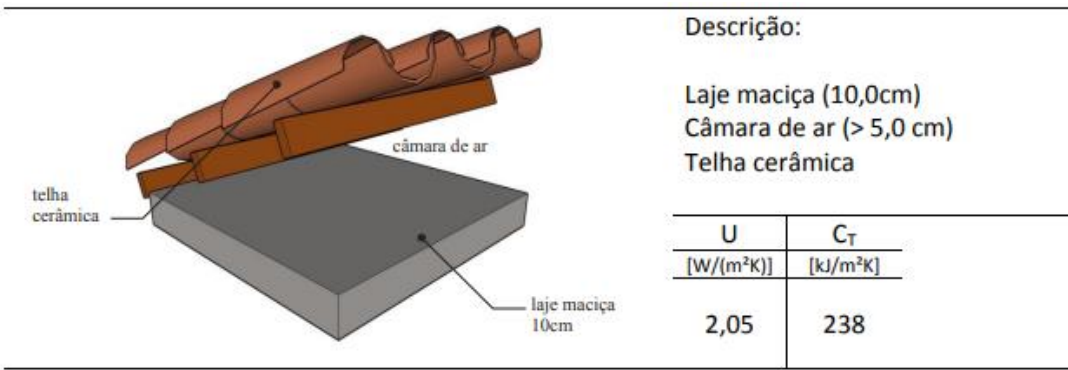
Cobertura		
U	2,29	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,20	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
$\phi =$	292.849,91	W

Fonte: Autor

Para esta opção ressalva-se a necessidade de manutenção da cor branca na cobertura, caso a mesma não seja limpa regularmente perderá as propriedades refletivas e se assemelhará, após longo período, ao concreto aparente com $\alpha = 0,80$.

4.4.7 Opção 7 – Laje maciça com cobertura em telha cerâmica

Figura 25 - Propriedades térmicas da cobertura opção 7



Fonte: INMETRO (2013, p.16)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absorvância devido a telha cerâmica, considerado o pior caso da tabela 4.

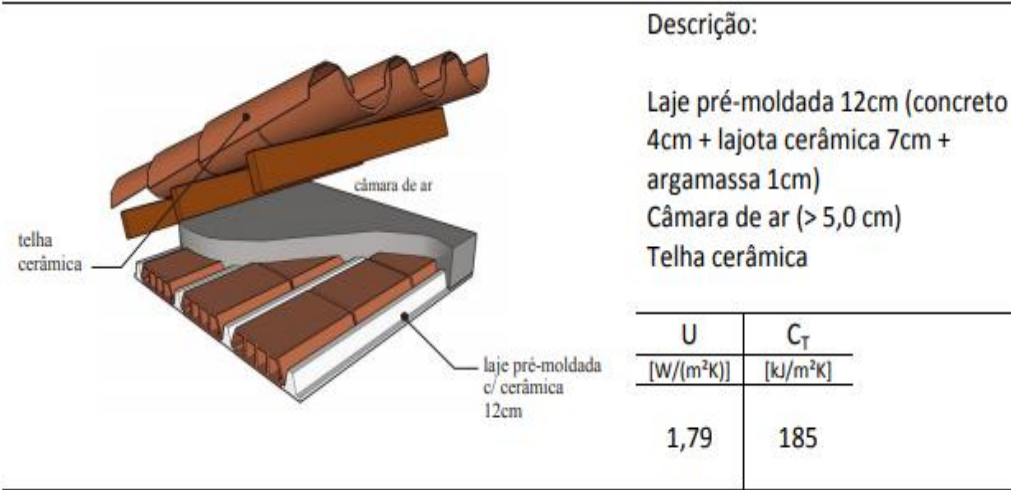
Tabela 32- Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 7

Cobertura		
U	2,05	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	664.145,93	W

Fonte: Autor

4.4.8 Opção 8 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha cerâmica

Figura 26 - Propriedades térmicas da cobertura opção 8



Fonte: INMETRO (2013, p.16)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absorvância devido a telha cerâmica, considerado o pior caso da tabela 4.

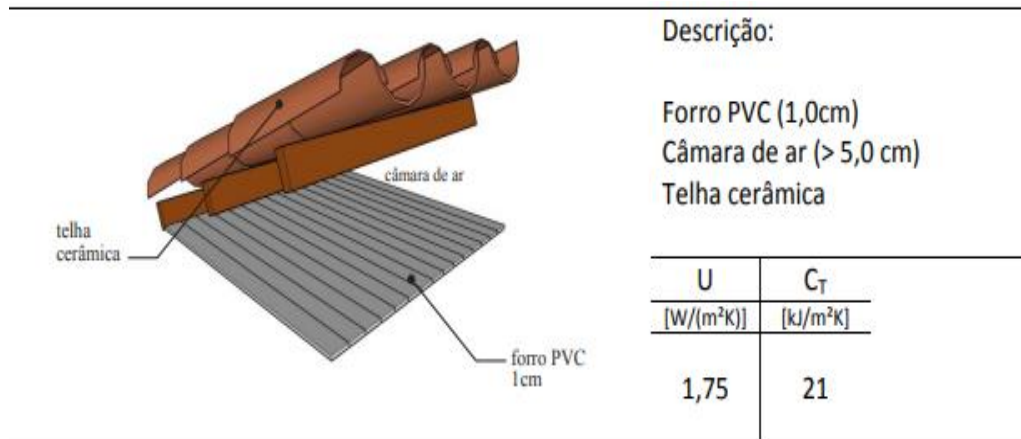
Tabela 33 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 8

Cobertura		
U	1,79	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	579.912,79	W

Fonte: Autor

4.4.9 Opção 9 – Estrutura sem laje, forro de PVC com cobertura em telha cerâmica

Figura 27 - Propriedades térmicas da cobertura opção 9



Fonte: INMETRO (2013, p.16)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absorvância devido a telha cerâmica, considerado o pior caso da tabela 4.

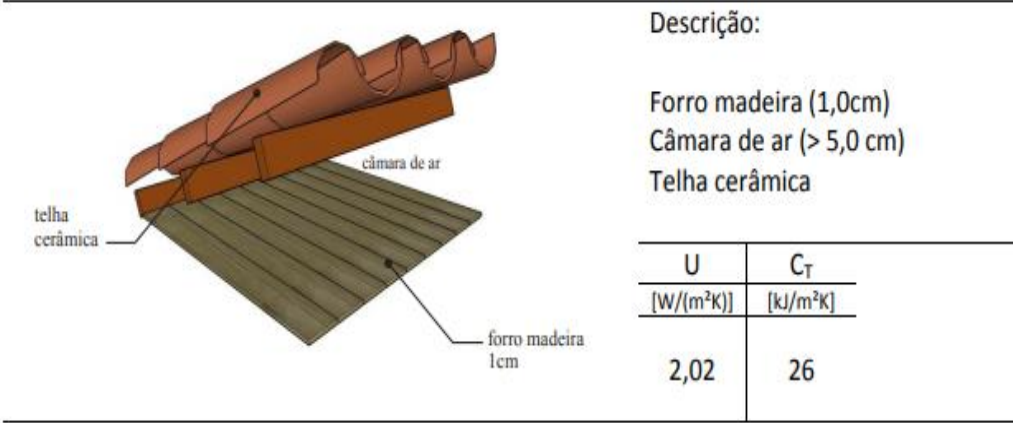
Tabela 34 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 9

Cobertura		
U	1,75	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	566.953,84	W

Fonte: Autor

4.4.10 Opção 10 – Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha cerâmica

Figura 28 - Propriedades térmicas da cobertura opção 10



Fonte: INMETRO (2013, p.16)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absorvência devido a telha cerâmica, considerado o pior caso da tabela 4.

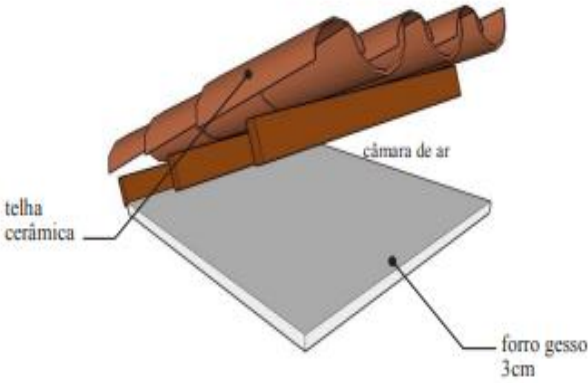
Tabela 35 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 10

Cobertura		
U	2,02	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	654.426,72	W

Fonte: Autor

4.4.11 Opção 11 – Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha cerâmica

Figura 29 - Propriedades térmicas da cobertura opção 11

	Descrição: Forro gesso (3,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica (1cm)						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>1,94</td><td>37</td></tr> </tbody> </table>	1,94	37
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
1,94	37						

Fonte: INMETRO (2013, p.17)

Atribuiu-se o valor de 0,80 para absorvância devido a telha cerâmica, considerado o pior caso da tabela 4.

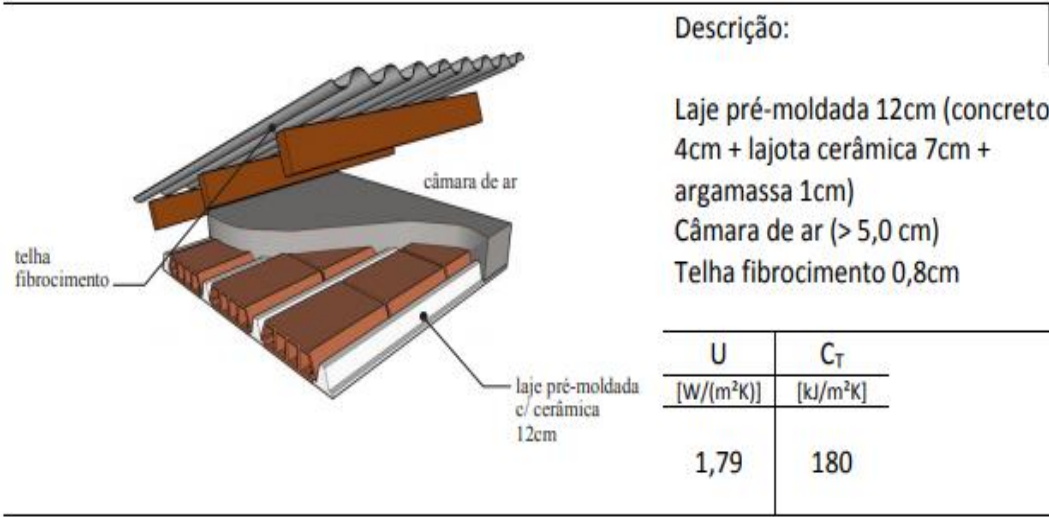
Tabela 36 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 11

Cobertura		
U	1,94	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,80	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	628.508,83	W

Fonte: Autor

4.4.12 Opção 12 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha fibrocimento

Figura 30 - Propriedades térmicas da cobertura opção 12



Fonte: INMETRO (2013, p.17)

Atribuiu-se o valor de 0,705 para absorvência devido a telha fibrocimento, considerada a absorvência total de telha fibrocimento nova ajustada por Coelho, Gomes e Dorneles (2017, p. 157).

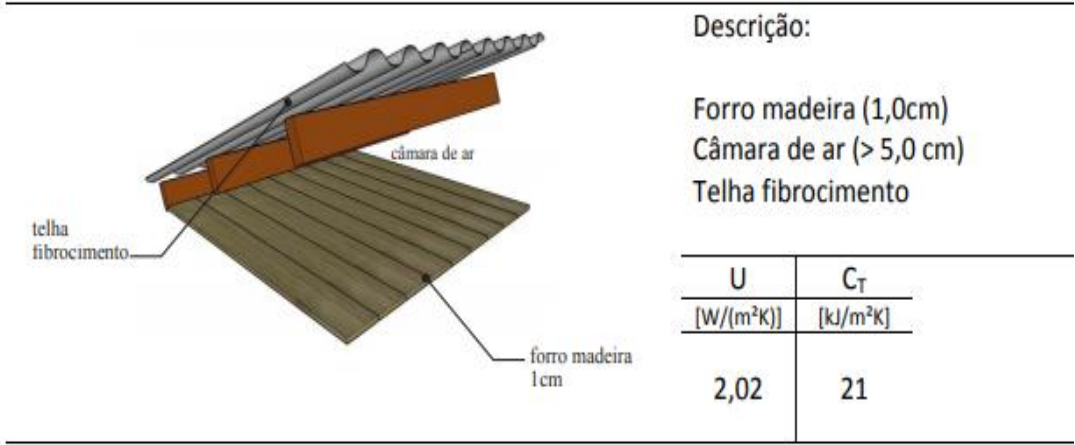
Tabela 37 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 12

Cobertura		
U	1,79	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,705	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	524.337,17	W

Fonte: Autor

4.4.13 Opção 13 – Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha fibrocimento

Figura 31 - Propriedades térmicas da cobertura opção 13



Fonte: INMETRO (2013, p.18)

Atribuiu-se o valor de 0,705 para absorptância devido a telha fibrocimento, considerada a absorptância total de telha fibrocimento nova ajustada por Coelho, Gomes e Dorneles (2017, p. 157).

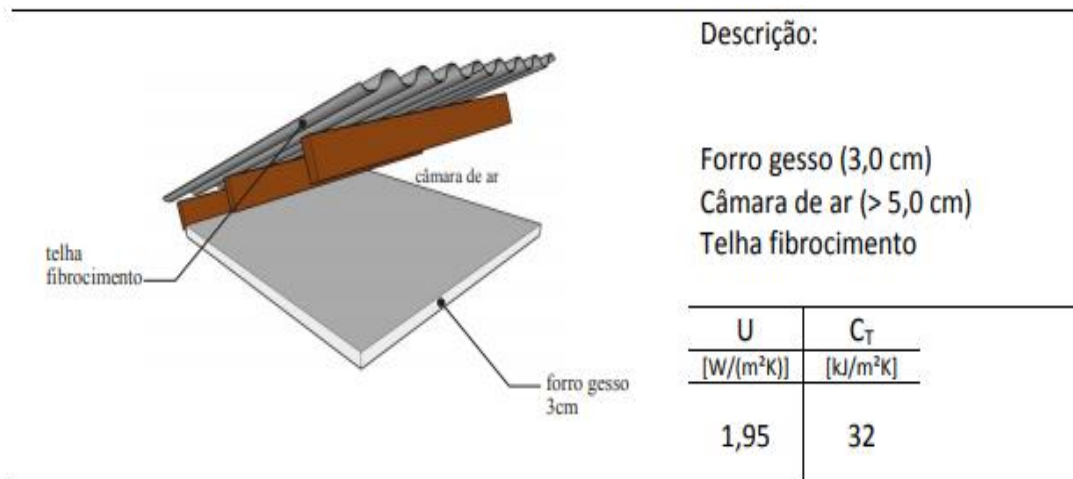
Tabela 38 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 13

Cobertura		
U	2,02	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,705	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	591.710,10	W

Fonte: Autor

4.4.14 Opção 14 – Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha fibrocimento

Figura 32 - Propriedades térmicas da cobertura opção 14



Fonte: INMETRO (2013, p.18)

Atribuiu-se o valor de 0,705 para absorvância devido a telha fibrocimento, considerada a absorvância total de telha fibrocimento nova ajustada por Coelho, Gomes e Dorneles (2017, p. 157).

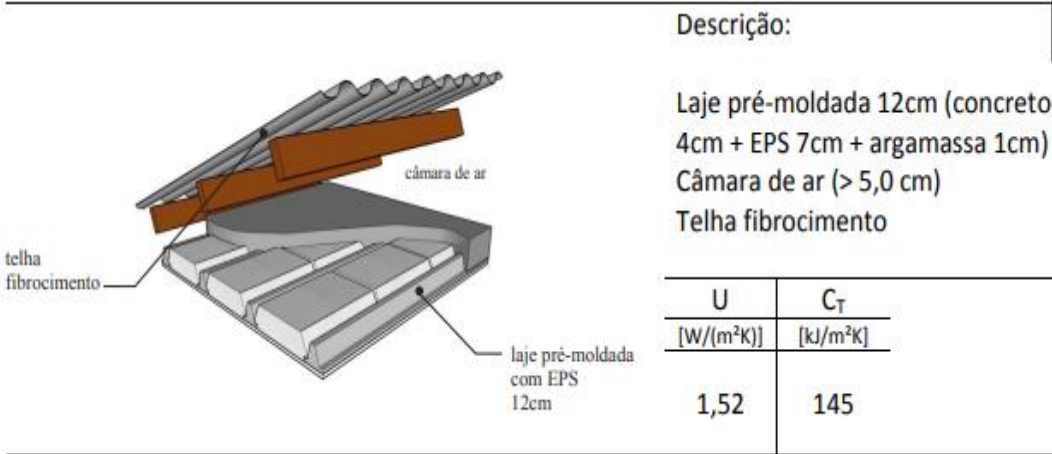
Tabela 39 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 14

Cobertura		
U	1,95	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T _{ext}	35,70	Temperatura externa
α	0,705	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R _{se}	0,04	Resistencia superficial externa
T _{int}	23,00	Temperatura interna
φ=	571.205,30	W

Fonte: Autor

4.4.15 Opção 15 – Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha fibrocimento

Figura 33 - Propriedades térmicas da cobertura opção 15



Fonte: INMETRO (2013, p.18)

Atribuiu-se o valor de 0,705 para absorvência devido a telha fibrocimento, considerada a absorvência total de telha fibrocimento nova ajustada por Coelho, Gomes e Dorneles (2017, p. 157).

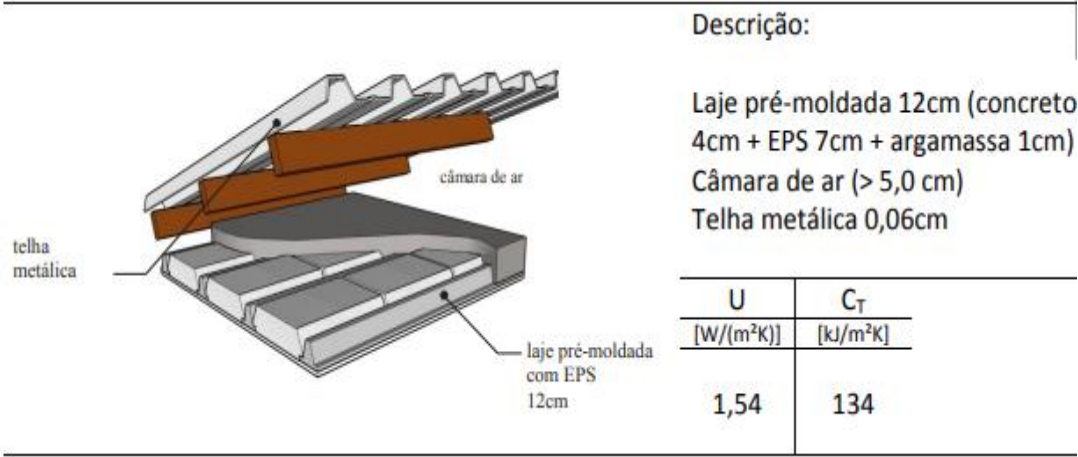
Tabela 40 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 15

Cobertura		
U	1,52	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,705	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	445.247,20	W

Fonte: Autor

4.4.16 Opção 16 – Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura

Figura 34 - Propriedades térmicas da cobertura opção 16



Fonte: INMETRO (2013, p.19)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorvância devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

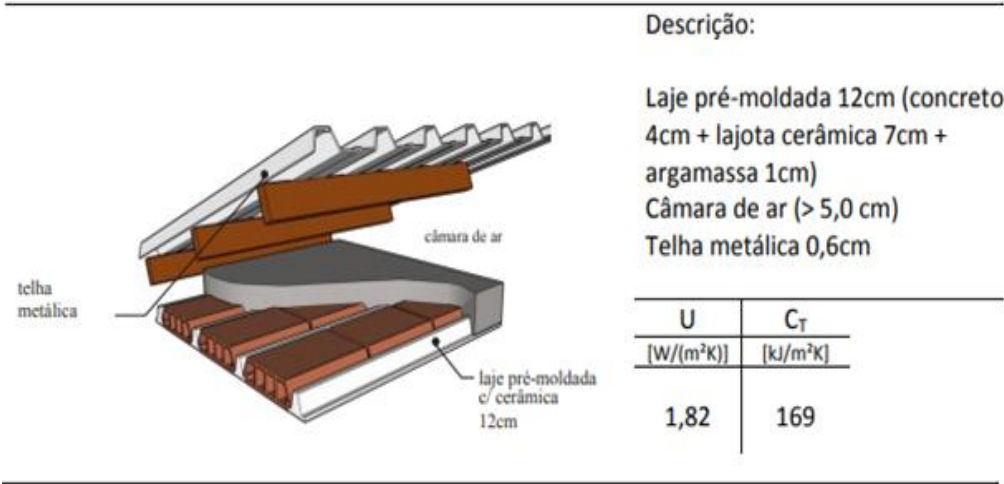
Tabela 41 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 16

Cobertura		
U	1,54	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	121.443,11	W

Fonte: Autor

4.4.17 Opção 17 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura

Figura 35 - Propriedades térmicas da cobertura opção 17



Fonte: INMETRO (2013, p.19)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorvência devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

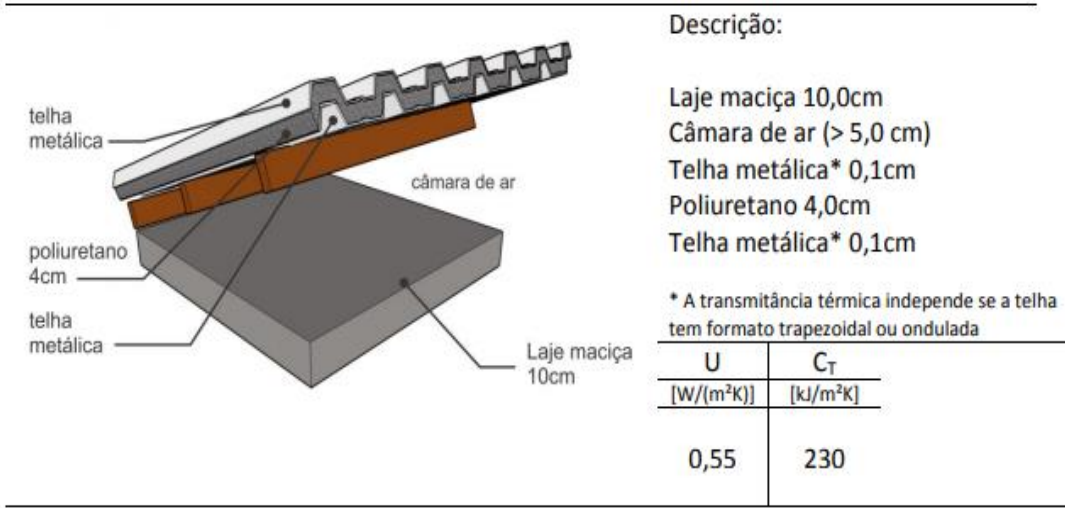
Tabela 42 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 17

Cobertura		
U	1,82	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	143.523,68	W

Fonte: Autor

4.4.18 Opção 18 – Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura

Figura 36 - Propriedades térmicas da cobertura opção 18



Fonte: INMETRO (2013, p.19)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorptância devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

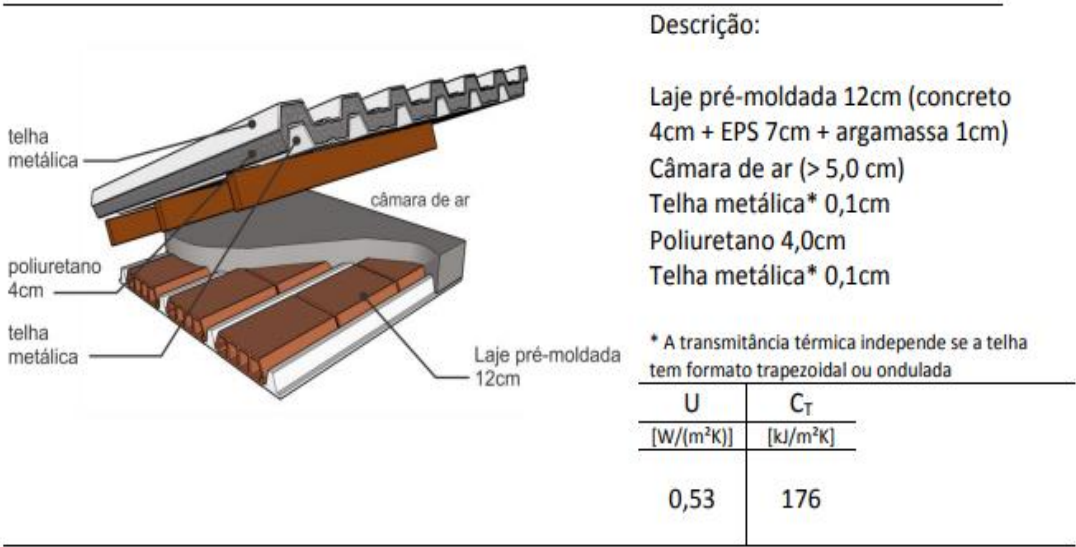
Tabela 43 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 18

Cobertura		
U	0,55	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	43.372,54	W

Fonte: Autor

4.4.19 Opção 19 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura

Figura 37 - Propriedades térmicas da cobertura opção 19



Fonte: INMETRO (2013, p.20)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorptância devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

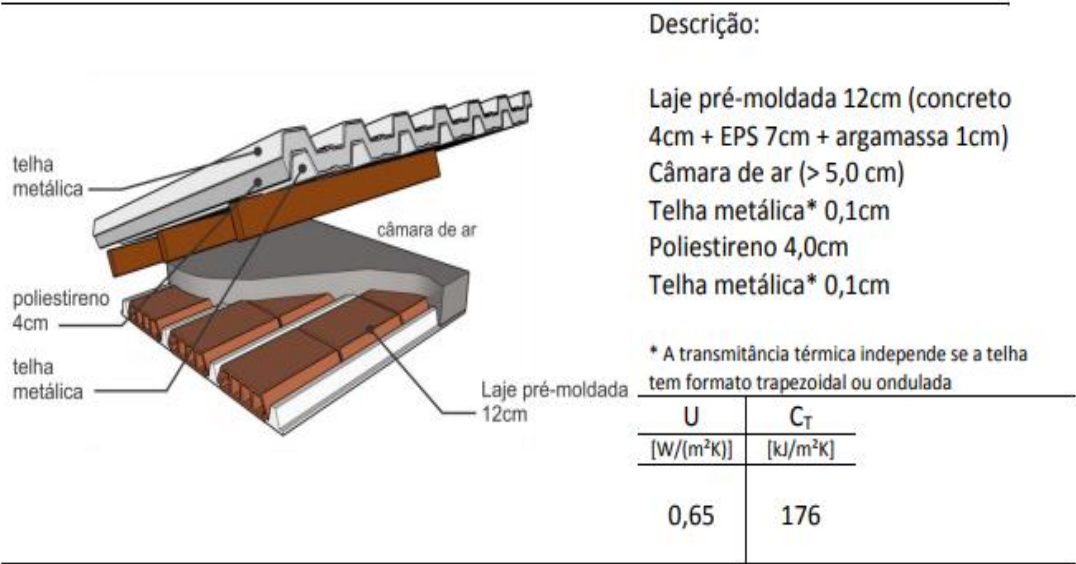
Tabela 44 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 19

Cobertura		
U	0,53	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	41.795,36	W

Fonte: Autor

4.4.20 Opção 20 – Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliestireno sem pintura

Figura 38 - Propriedades térmicas da cobertura opção 20



Fonte: INMETRO (2013, p.20)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorvência devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

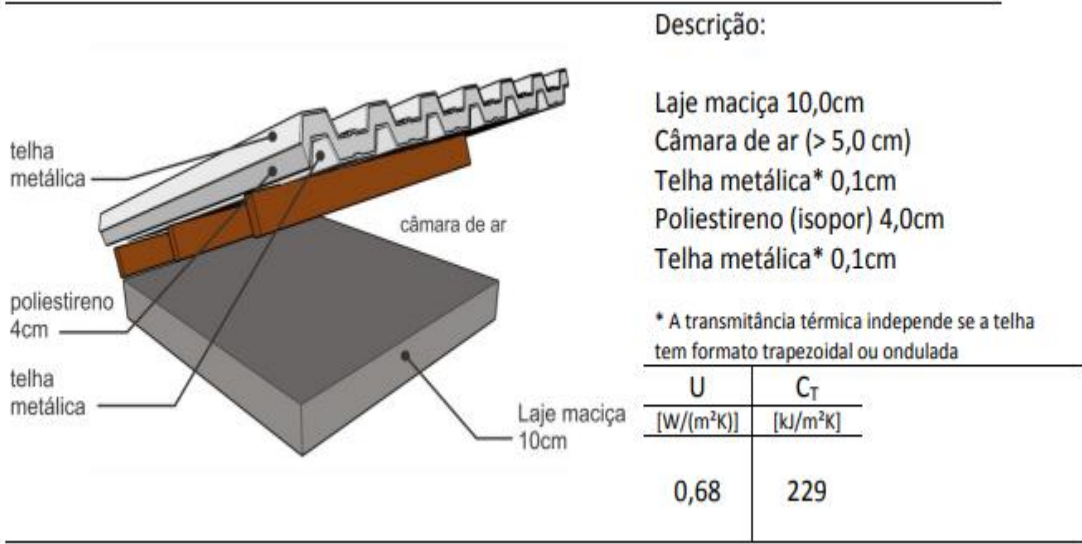
Tabela 45- Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 20

Cobertura		
U	0,65	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	51.258,46	W

Fonte: Autor

4.4.21 Opção 21 – Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliestireno sem pintura

Figura 39 - Propriedades térmicas da cobertura opção 21



Fonte: INMETRO (2013, p.20)

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorptância devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4).

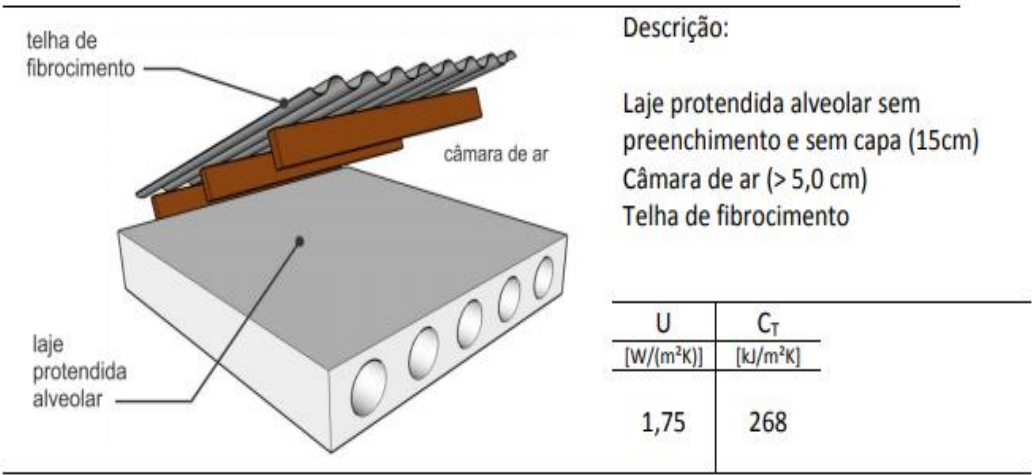
Tabela 46 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 21

Cobertura		
U	0,68	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absortância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	53.624,23	W

Fonte: Autor

4.4.22 Opção 22 – Laje protendida alveolar com cobertura em telha fibrocimento

Figura 40 - Propriedades térmicas da cobertura opção 22



Fonte: INMETRO (2013, p.22)

Atribuiu-se o valor de 0,705 para absorvência devido a telha fibrocimento, considerada a absorvência total de telha fibrocimento nova ajustada por Coelho, Gomes e Dorneles (2017, p. 157).

Tabela 47 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 22

Cobertura		
U	1,75	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,71	absorvência do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
φ=	512.620,14	W

Fonte: Autor

4.4.23 Opção 23 - Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC

Atribuiu-se o valor de 0,05 para absorvância devido a chapa de alumínio nova e sem pintura (tabela 4). Para o valor da transmitância térmica usou-se o resultado calculado na simulação nos itens subsequentes, conforme apresentado na Tabela 66 do item 4.6.3.1.

Tabela 48 - Variáveis, Área e Fluxo de calor total na cobertura da opção 23

Cobertura		
U	5,34	Transmitância térmica
A	7.186,00	Área da superfície
T ext	35,70	Temperatura externa
α	0,05	absorvância do material
I	1.137,00	Radiação incidente
R se	0,04	Resistencia superficial externa
T int	23,00	Temperatura interna
$\varphi=$	421.107,94	W

Fonte: Autor

A partir desta opção, todos os valores da Tabela 48 se repetem, com exceção da transmitância térmica (U). Por isso, as tabelas foram reduzidas para simplificar a análise mantendo somente o valor de U e o fluxo de calor resultante.

4.4.24 Opção 24 - Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto

Tabela 49 – Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 24

Cobertura		
U	4,48	Transmitância térmica
$\varphi=$	353.289,05	W

Fonte: Autor

4.4.25 Opção 25 - Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje

Tabela 50 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 25

Cobertura		
U	7,28	Transmitância térmica
$\varphi=$	574.094,71	W

Fonte: Autor

4.4.26 Opção 26 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC

Tabela 51 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 26

Cobertura		
U	0,66	Transmitância térmica
$\varphi=$	52.047,05	W

Fonte: Autor

4.4.27 Opção 27 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS

Tabela 52 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 27

Cobertura		
U	0,34	Transmitância térmica
$\varphi=$	26.812,12	W

Fonte: Autor

4.4.28 Opção 28 - Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje

Tabela 53 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 28

Cobertura		
U	0,68	Transmitância térmica
$\varphi=$	53.624,23	W

Fonte: Autor

4.4.29 Opção 29 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC

Tabela 54 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 29

Cobertura		
U	0,38	Transmitância térmica
$\varphi=$	29.966,48	W

Fonte: Autor

4.4.30 Opção 30 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto

Tabela 55 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 30

Cobertura		
U	0,38	Transmitância térmica
$\varphi=$	29.966,48	W

Fonte: Autor

4.4.31 Opção 31 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS

Tabela 56 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 31

Cobertura		
U	0,25	Transmitância térmica
$\varphi=$	19.714,79	W

Fonte: Autor

4.4.32 Opção 32 - Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje

Tabela 57 - Transmitância térmica e fluxo de calor total na cobertura da opção 32

Cobertura		
U	0,39	Transmitância térmica
$\varphi=$	30.755,07	W

Fonte: Autor

Para simplificar e condensar as tabelas de classificação, ajustou-se as descrições das coberturas para nomenclaturas reduzidas conforme expõe a Tabela 58.

Tabela 58 - Coberturas com descrição completa e reduzida

Opção	Descrição	Descrição reduzida
1	Laje maciça em concreto aparente sem cobertura	L. maciça conc. aparente sem cobertura
2	Laje maciça em concreto aparente com pintura branca sem cobertura	L. maciça conc. aparente branca
3	Laje pré-moldada com lajota cerâmica em concreto aparente sem cobertura	L. pré. c. lajota e conc. aparente
4	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com pintura branca sem cobertura	L. pré. c. lajota e conc. aparente branca
5	Laje pré-moldada com EPS em concreto aparente sem cobertura	L. pré. c. EPS e conc. aparente
6	Laje pré-moldada com EPS com pintura branca sem cobertura	L. pré. c. EPS e conc. aparente branca
7	Laje maciça com cobertura em telha cerâmica	L. maciça c. cob. telha cerâmica
8	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha cerâmica	L. pré. c. lajota e cob. telha cerâmica
9	Estrutura sem laje, forro de PVC com cobertura em telha cerâmica	Cob. telha cerâmica e forro PVC
10	Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha cerâmica	Cob. telha cerâmica e forro madeira
11	Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha cerâmica	Cob. telha cerâmica e forro gesso
12	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha fibrocimento	L. pré. c. lajota e cob. telha fibrocimento
13	Estrutura sem laje, forro de madeira com cobertura em telha fibrocimento	Cob. telha fibrocimento e forro madeira
14	Estrutura sem laje, forro de gesso com cobertura em telha fibrocimento	Cob. telha fibrocimento e forro gesso
15	Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha fibrocimento	L. pré. c. EPS e telha fibrocimento
16	Laje pré-moldada com EPS com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura	L. pré. c. EPS e telha alumínio
17	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio sem pintura	L. pré. c. lajota e cob. Telha alumínio
18	Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura	L. maciça cob. telha sanduiche poliuretano
19	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio “sanduiche” com preenchimento de poliuretano sem pintura	L. pré. laj. cob. telha sanduiche poliuretano

20	Laje pré-moldada com lajota cerâmica com cobertura em telha metálica de alumínio "sanduíche" com preenchimento de poliestireno sem pintura	L. pré laj. cob. telha sanduíche poliestireno
21	Laje maciça com cobertura em telha metálica de alumínio "sanduíche" com preenchimento de poliestireno sem pintura	L. maciça cob. telha sanduíche poliestireno
22	Laje protendida alveolar com cobertura em telha fibrocimento	L. protend. alveolar cob. Telha fibrocimento
23	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	Cob. aluminio simples forro PVC
24	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	Cob. aluminio simples l. concreto
25	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	Cob. aluminio simples sem laje
26	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" e forro de PVC	Cob. sanduíche c. forro PVC
27	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" e laje de concreto com EPS	Cob. sanduíche c. laje concreto EPS
28	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" sem forro ou laje	Cob. sanduíche sem laje
29	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e forro de PVC	Cob. sand. c. manta lã de rocha e forro PVC
30	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e laje de concreto	Cob. sand. c. manta lã de rocha e l. concreto
31	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	Cob. sand. manta lã rocha e l. concreto EPS
32	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	Cob. sand. manta lã rocha sem laje

Fonte: Autor

4.5 CLASSIFICAÇÃO DAS OPÇÕES DE COBERTURAS CALCULADAS

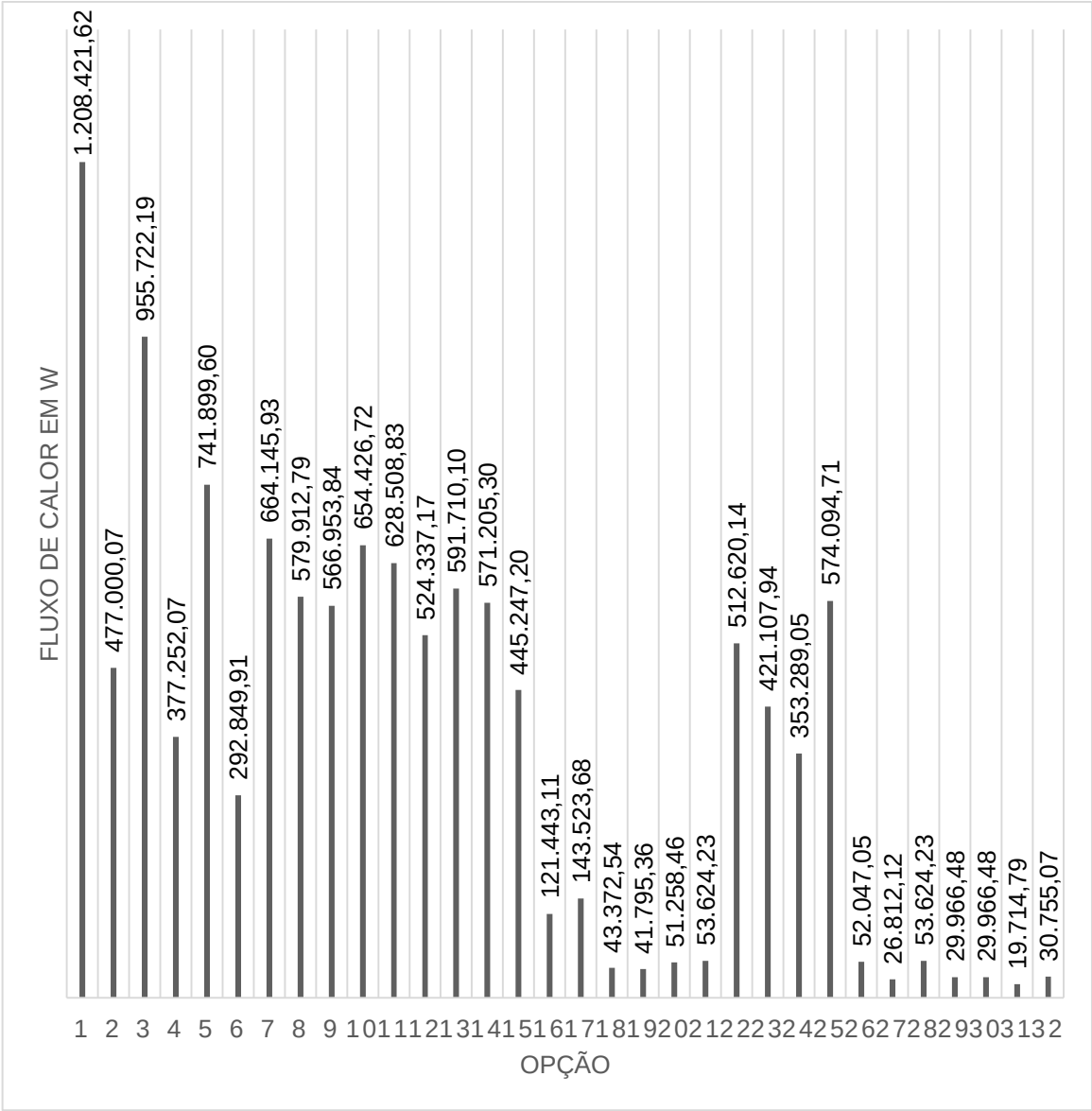
Após o cálculo de fluxo de calor das alternativas de cobertura escolhidas, realizou-se uma classificação de acordo com o valor encontrado. As Tabela 59 e Tabela 60 e as Figura 41 e Figura 42 demonstram o resumo dos fluxos de calor e a classificação em valores crescente dos mesmos, respectivamente.

Tabela 59 - Resumo das opções e fluxos de calor

Opção	Descrição curta	Fluxo de calor (ϕ) em W
1	L. maciça conc. aparente sem cobertura	1.208.421,62
2	L. maciça conc. aparente branca	477.000,07
3	L. pré. c. lajota e conc. aparente	955.722,19
4	L. pré. c. lajota e conc. aparente branca	377.252,07
5	L. pré. c. EPS e conc. aparente	741.899,60
6	L. pré. c. EPS e conc. aparente branca	292.849,91
7	L. maciça c. cob. telha cerâmica	664.145,93
8	L. pré. c. lajota e cob. telha cerâmica	579.912,79
9	Cob. telha cerâmica e forro PVC	566.953,84
10	Cob. telha cerâmica e forro madeira	654.426,72
11	Cob. telha cerâmica e forro gesso	628.508,83
12	L. pré. c. lajota e cob. telha fibrocimento	524.337,17
13	Cob. telha fibrocimento e forro madeira	591.710,10
14	Cob. telha fibrocimento e forro gesso	571.205,30
15	L. pré. c. EPS e telha fibrocimento	445.247,20
16	L. pré. c. EPS e telha alumínio	121.443,11
17	L. pré. c. lajota e cob. Telha alumínio	143.523,68
18	L. maciça cob. telha sanduiche poliuretano	43.372,54
19	L. pré. laj. cob. telha sanduiche poliuretano	41.795,36
20	L. pré laj. cob. telha sanduiche poliestireno	51.258,46
21	L. maciça cob. telha sanduiche poliestireno	53.624,23
22	L. protend. alveolar cob. Telha fibrocimento	512.620,14
23	Cob. alumínio simples forro PVC	421.107,94
24	Cob. alumínio simples l. concreto	353.289,05
25	Cob. alumínio simples sem laje	574.094,71
26	Cob. sanduiche c. forro PVC	52.047,05
27	Cob. sanduiche c. laje concreto EPS	26.812,12
28	Cob. sanduiche sem laje	53.624,23
29	Cob. sand. c. manta lã de rocha e forro PVC	29.966,48
30	Cob. sand. c. manta lã de rocha e l. concreto	29.966,48
31	Cob. sand. manta lã rocha e l. concreto EPS	19.714,79
32	Cob. sand. manta lã rocha sem laje	30.755,07

Fonte: Autor

Figura 41 - Gráfico dos fluxos de calor em função das opções



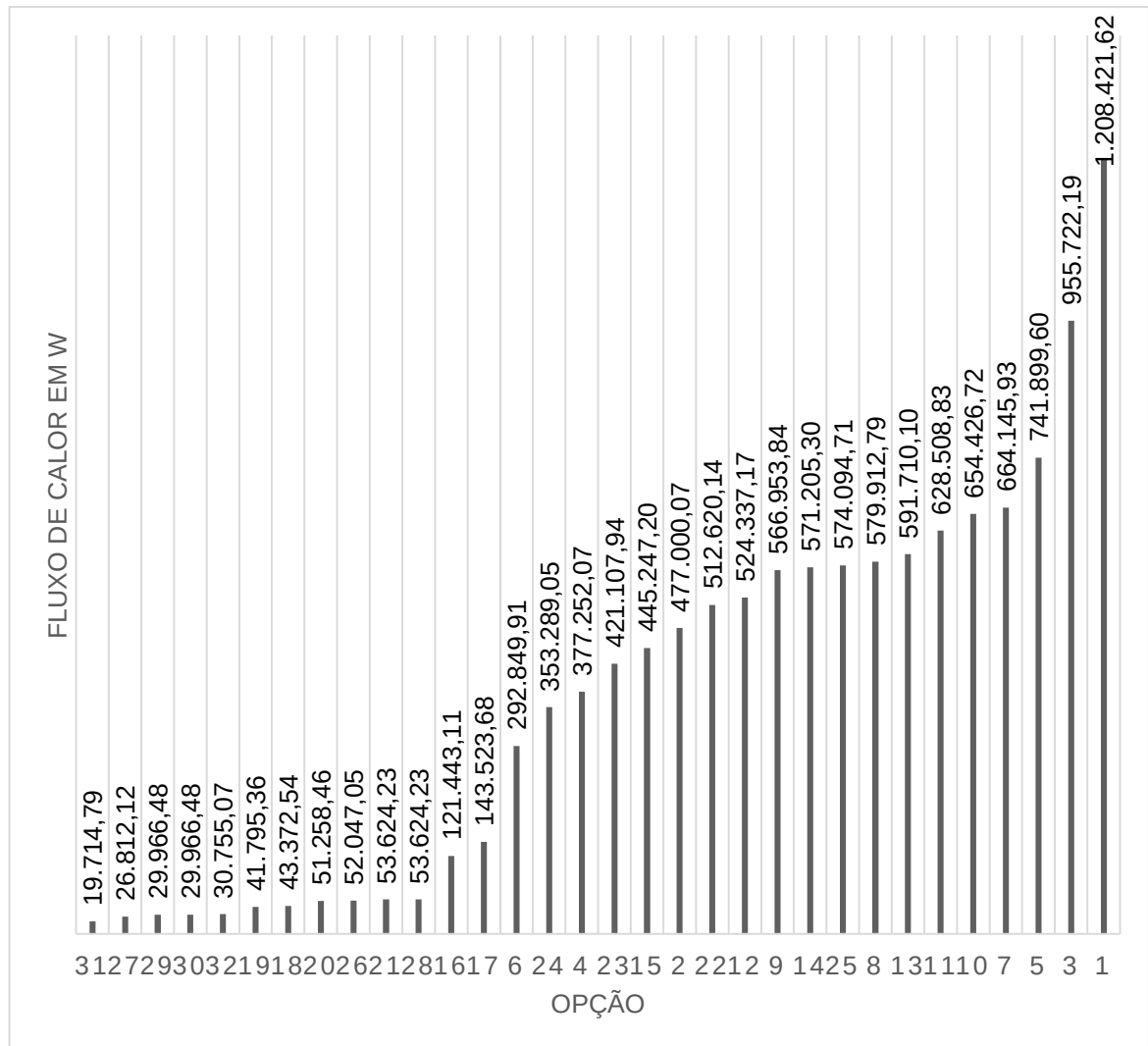
Fonte: Autor

Tabela 60 - Classificação das opções de cobertura em ordem crescente dos fluxos de calor

Posição	Opção	Descrição curta	Fluxo de calor (ϕ) em W
1	31	Cob. sand. manta lã rocha e l. concreto EPS	19.714,79
2	27	Cob. sanduiche c. laje concreto EPS	26.812,12
3	29	Cob. sand. c. manta lã de rocha e forro PVC	29.966,48
4	30	Cob. sand. c. manta lã de rocha e l. concreto	29.966,48
5	32	Cob. sand. manta lã rocha sem laje	30.755,07
6	19	L. pré. laj. cob. telha sanduiche poliuretano	41.795,36
7	18	L. maciça cob. telha sanduiche poliuretano	43.372,54
8	20	L. pré laj. cob. telha sanduiche poliestireno	51.258,46
9	26	Cob. sanduiche c. forro PVC	52.047,05
10	21	L. maciça cob. telha sanduiche poliestireno	53.624,23
11	28	Cob. sanduiche sem laje	53.624,23
12	16	L. pré. c. EPS e telha alumínio	121.443,11
13	17	L. pré. c. lajota e cob. Telha alumínio	143.523,68
14	6	L. pré. c. EPS e conc. aparente branca	292.849,91
15	24	Cob. alumínio simples l. concreto	353.289,05
16	4	L. pré. c. lajota e conc. aparente branca	377.252,07
17	23	Cob. alumínio simples forro PVC	421.107,94
18	15	L. pré. c. EPS e telha fibrocimento	445.247,20
19	2	L. maciça conc. aparente branca	477.000,07
20	22	L. protendida alveolar cob. Telha fibrocimento	512.620,14
21	12	L. pré. c. lajota e cob. telha fibrocimento	524.337,17
22	9	Cob. telha cerâmica e forro PVC	566.953,84
23	14	Cob. telha fibrocimento e forro gesso	571.205,30
24	25	Cob. alumínio simples sem laje	574.094,71
25	8	L. pré. c. lajota e cob. telha cerâmica	579.912,79
26	13	Cob. telha fibrocimento e forro madeira	591.710,10
27	11	Cob. telha cerâmica e forro gesso	628.508,83
28	10	Cob. telha cerâmica e forro madeira	654.426,72
29	7	L. maciça c. cob. telha cerâmica	664.145,93
30	5	L. pré. c. EPS e conc. aparente	741.899,60
31	3	L. pré. c. lajota e conc. aparente	955.722,19
32	1	L. maciça conc. aparente sem cobertura	1.208.421,62

Fonte: Autor

Figura 42 - Gráfico dos fluxos de calor em ordem crescente em função das opções



Fonte: Autor

Por meio da Tabela 60 e Figura 42, pode-se observar que a alternativa de cobertura com menor fluxo de calor e, conseqüentemente, o maior conforto térmico aos usuários é a opção de número 31 com 19.714,79 W composta por cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS. E a opção com maior fluxo de calor e, conseqüentemente, o pior conforto térmico é a opção número 1 com 1.208.421,62 W composta por laje maciça em concreto aparente sem cobertura. Ressalta-se que as estruturas sofrem desgaste, sedimentação e, conseqüentemente, perda de eficiência conforme o passar do tempo, assim não são mantidos os valores de absorvância.

Através dos cálculos realizados e analisando os resultados obtidos, percebe-se que existem expressivas variações de comportamento térmico de acordo com os

tipos de materiais utilizados. Nota-se também que as escolhas desses materiais podem ser determinantes para a qualidade e conforto do ambiente a ser construído e, pensando em ambientes industriais, pode ser fator determinante para um melhor desempenho e produtividade do setor fabril. Ressalta-se também que estes resultados de redução de fluxo de calor seriam ainda mais significativos caso fosse comum a climatização de áreas fabris, pois a carga térmica reduzida pela cobertura seria proporcional a redução do consumo de energia utilizado nos condicionadores de ar para resfriar o ambiente, a exemplo das residências.

Além disso, com o aumento do conforto dos colaboradores, poderá gerar aumento na produtividade e redução dos erros em linhas de produção, como pode ser observado na Tabela 1 desenvolvida e explicada por CIOCCI (2004) presente no capítulo de introdução desta pesquisa. Com isso, gerará redução no custo de produção dos produtos e, então, com o tempo, compensará os investimentos feitos com materiais com melhor isolamento para coberturas dos galpões, como por exemplo uso de telhas metálicas tipo “sandwiches” em substituição as telhas metálicas simples.

4.6 SIMULAÇÃO DE GALPÕES

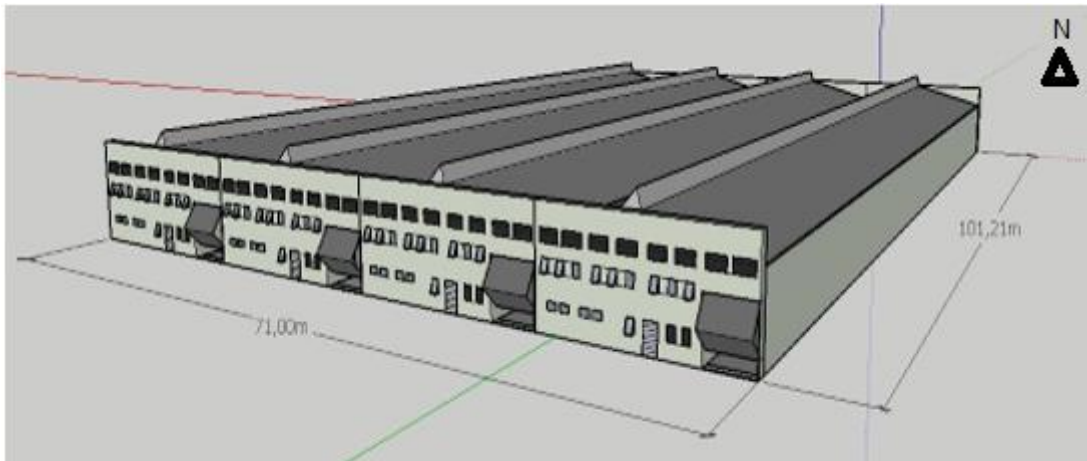
Após os cálculos do fluxo de calor das coberturas das edificações, partiu-se para a simulação computacional da envoltória por meio do *software Energy Plus*. Para isso, foi considerada a mesma área denominada como padrão ($A = 7.186,00 \text{ m}^2$) e as mesmas características de materiais para alvenaria da Edificação 1 (Paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos, dimensão de $9 \times 14 \times 24 \text{ cm}$, rebocados e pintados na cor branca). Não se julgou necessário repetir os cálculos com a Edificação 2 porque ambas possuem as mesmas características de envoltória alterando somente os tipos de materiais e, como o foco da simulação foram os ganhos de calor através das diferentes coberturas, não houve necessidade de repetir os cálculos com as mudanças nos fechamentos laterais.

Além disso, como todas as envoltórias utilizadas para as simulações são semelhantes (fachadas, esquadrias e piso), alternando-se apenas as composições dos materiais para cobertura, cada simulação será referenciada pelas estruturas dos telhados. Porém, ressalta-se que, nos resultados encontrados, estão consideradas as contribuições da envoltória por completo.

4.6.1 Modelagem da estrutura 3D do galpão e zonas térmicas

A simulação teve início na Smodelagem 3D da estrutura física do galpão por meio do software *SketchUp*, sendo considerado suas dimensões, espessuras de parede, fechamentos laterais e superiores (paredes e cobertura) e aberturas (esquadrias). A Figura 43 ilustra o galpão concluído.

Figura 43 - Ilustração 3D do galpão no software SketchUp



Fonte: Autor

Após a modelagem 3D da estrutura física do galpão, foi elaborada uma única zona térmica interna e suas características, delimitada pelas superfícies de fachada, cobertura e piso das edificações. Neste momento foram fixadas as dimensões das aberturas e limitantes externos do galpão. A Figura 44 ilustra a zona térmica concluída, em que as paredes são coloridas em amarelo, vidros em azul claro, portas em amarelo escuro e cobertura em vinho.

Figura 44 - Zonas térmicas presentes no galpão



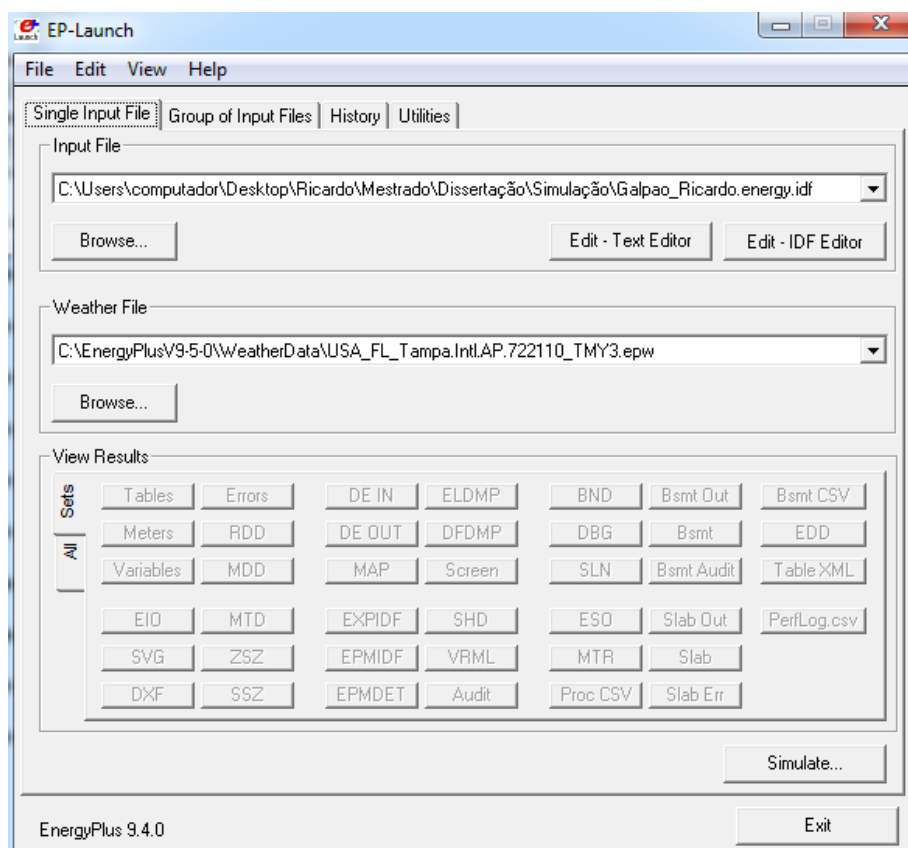
Fonte: Autor

Concluída a modelagem 3D e zona térmica da edificação, partiu-se para o software *Energy Plus*, em que foi realizada a simulação efetivamente.

4.6.2 Preparação dos galpões para simulação

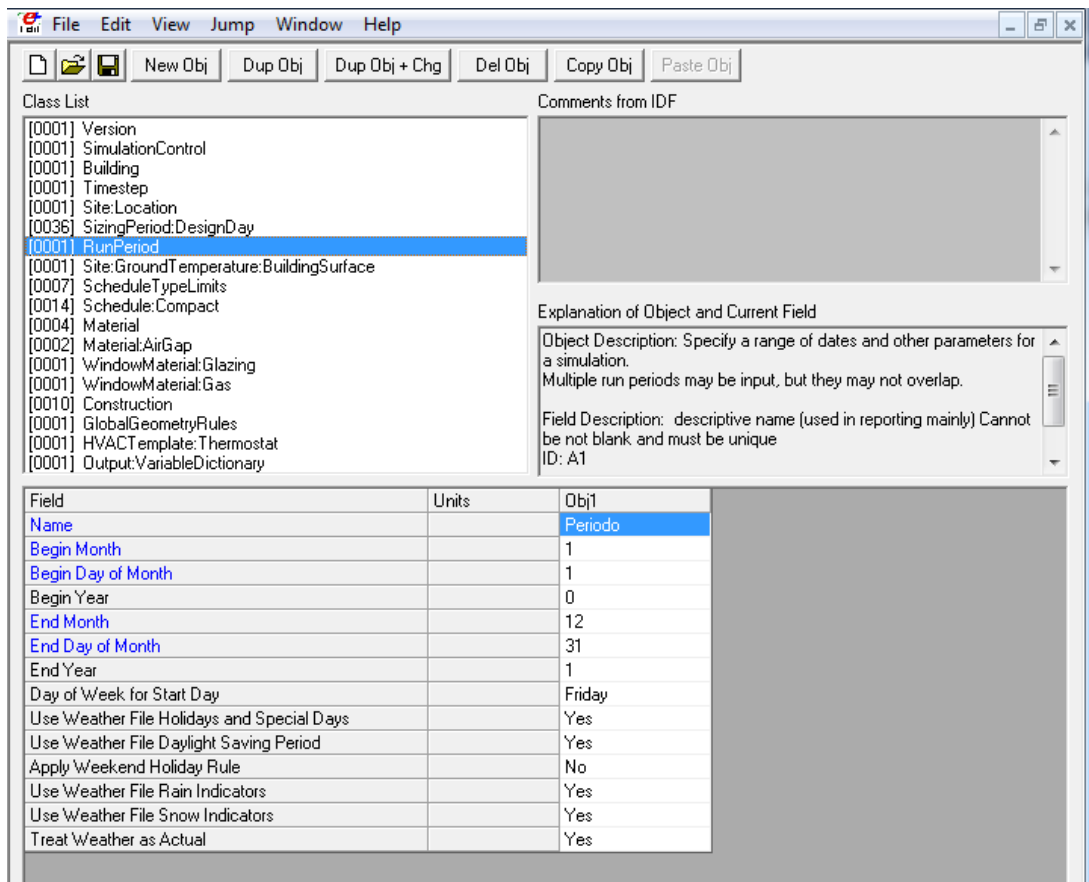
Antes do início da simulação foi necessário especificar diversas informações, características e detalhes do galpão para que o software pudesse fazer a leitura completa da edificação. E então realizar a simulação com as condições reais existentes para apresentar os resultados mais assertivos e precisos possíveis. As Figura 45 e Figura 46 ilustram as páginas inicial e de entrada de dados do software *Energy Plus*.

Figura 45 – Página de entrada *Software Energy Plus*



Fonte: Autor

Figura 46 – Página de entrada de dados no software Energy Plus



Fonte: Autor

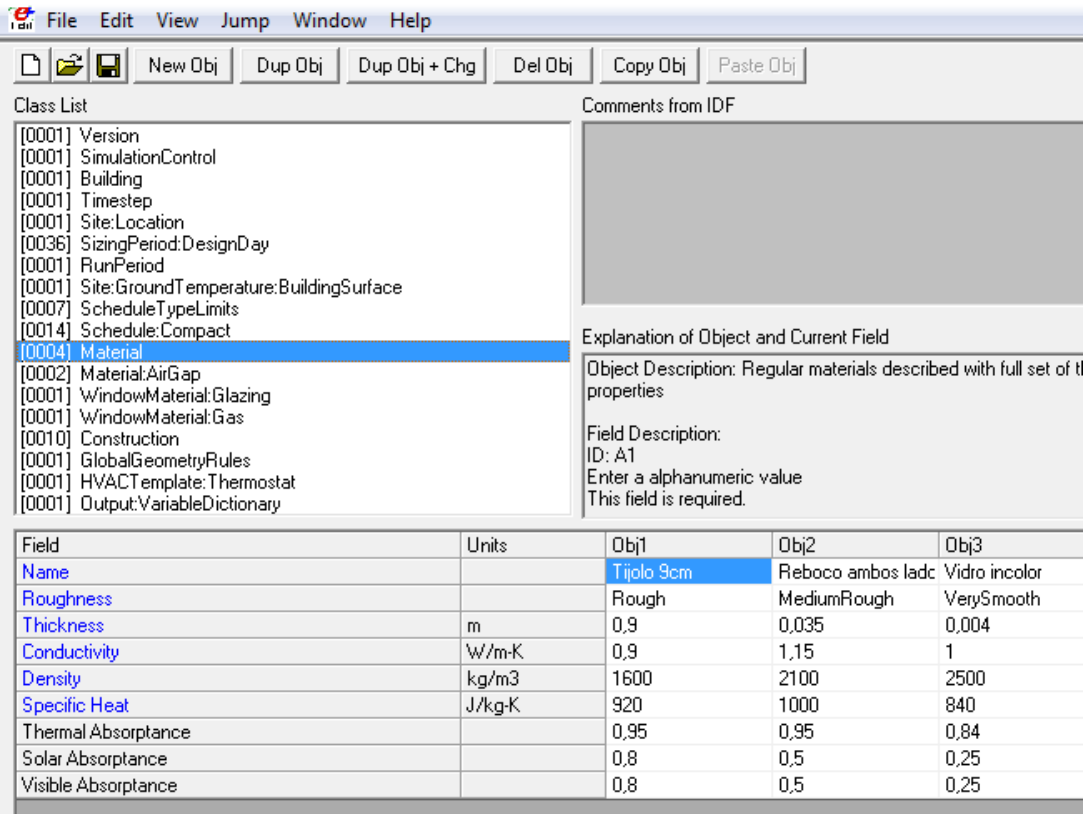
Dentre todas as informações e dados necessários para a simulação, vale ressaltar a página em que são determinados os dados térmicos e características de cada material que compõe a envoltória do galpão, a Tabela 61 apresenta esses dados em português e como eles aparecem no software em inglês. Enquanto a Figura 47 ilustra a página em que esses dados são inseridos.

Tabela 61 - Dados dos materiais necessários para simulação

Dados dos materiais	Dados em inglês
Rugosidade	<i>Roughness</i>
Espessura	<i>Thickness</i>
Conduktividades térmica	<i>Conductivity</i>
Densidade	<i>Density</i>
Calor específico	<i>Specific heat</i>
Emissividade	<i>Thermal Absorptance</i>
Absortância	<i>Solar Absorptance</i>

Fonte: Autor

Figura 47 - Ilustração da entrada dos dados térmicos de cada material que compõe a envoltória



Fonte: Autor

Como o objetivo deste estudo foi analisar o desempenho térmico das coberturas comparando diferentes materiais e suas interferências, para a simulação manteve-se os mesmos dados referentes aos fechamentos laterais da edificação (paredes e aberturas), características de uso e ocupação e posição geográfica em todas as simulações, alterando somente os tipos e características da cobertura e forro para cada análise.

4.6.3 Simulação dos galpões

Para a simulação foram selecionadas 12 composições de coberturas diferentes, para isso, selecionou-se diversos tipos de telhas, lajes e forros. Ressalta-se que os tipos de cobertura utilizados nesta etapa estão presentes dentre os 32 calculados no item anterior. Porém, para a simulação, foram selecionados apenas as coberturas que possuem a presença de telhas metálicas de alumínio em sua composição e suas variações (telhas simples, telhas sanduiche e com manta de lã de rocha), devido aos melhores resultados encontrados. A Tabela 62 apresenta essas coberturas.

Tabela 62 - Tipos de coberturas selecionados para a simulação

Item	Descrição do tipo de cobertura
1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC
2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto
3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS
4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje
5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC
6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto
7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS
8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje
9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC
10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto
11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS
12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje

Fonte: Autor

Após a escolha dos tipos de materiais que compõem a estrutura de cobertura, foi realizada a inclusão dos dados descritos na Tabela 61 para cada material individualmente. As Tabela 63 e Tabela 64 apresentam os materiais utilizados.

Tabela 63 - Descrição das características de cada material que compõe a cobertura

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Tijolo 9cm	Reboco	Vidro incolor	Porta de aco galvar	Piso de concreto	Telhado aluminio
Roughness		Rough	MediumRough	VerySmooth	MediumSmooth	MediumSmooth	Smooth
Thickness	m	0,9	0,015	0,004	0,1	0,15	0,0007
Conductivity	W/m-K	0,9	1,15	1	55	1,75	230
Density	kg/m3	1600	2100	2500	7800	2400	2700
Specific Heat	J/kg-K	920	1000	840	460	1000	880
Thermal Absorptance		0,95	0,95	0,84	0,25	0,95	0,05
Solar Absorptance		0,8	0,5	0,25	0,25	0,8	0,05
Visible Absorptance		0,8	0,5	0,25	0,25	0,8	0,05

Fonte: Autor

Tabela 64 - Descrição das características de cada material que compõe a cobertura (2)

Field	Units	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		Poliuretano telha	Concreto macico	Concreto partes	Forro PVC	EPS no concreto
Roughness		MediumRough	VeryRough	VeryRough	Smooth	Rough
Thickness	m	0,04	0,15	0,05	0,01	0,05
Conductivity	W/m-K	0,03	1,75	1,75	0,2	0,035
Density	kg/m3	40	2400	2400	1400	40
Specific Heat	J/kg-K	1670	1000	1000	1700	1420
Thermal Absorptance		0,6	0,95	0,95	0,94	0,6
Solar Absorptance		0,4	0,8	0,8	0,3	0,3
Visible Absorptance		0,4	0,8	0,8	0,3	0,3

Fonte: Autor

Com a definição dos materiais no software, foram realizadas as composições dos materiais para “construir” as superfícies. A Tabela 65 exemplifica essa constituição, neste caso foi utilizada a telha de alumínio simples sem forro.

Tabela 65 - Composição das superfícies

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Interior Floor	Exterior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door
Outside Layer		Piso de concreto	Reboco	Telhado aluminio	Clear 3mm	Porta de aco galvar
Layer 2			Tijolo 9cm			
Layer 3			Reboco			
Layer 4						

Fonte: Autor

Após a escolha dos tipos de materiais que constituem as coberturas, partiu-se para a simulação de cada uma individualmente. E, para este processo, escolheu-se como variáveis de saída (resultados), dentre as opções existentes no *software*, o fator “U” (transmitância térmica) do conjunto em análise e os resultados de fluxo de calor através das superfícies. Com isso, foi possível identificar a quantidade de calor que atravessa a envoltória e o seu valor unitário (através do fator “U”).

Para concluir a simulação, foi necessário o uso de um arquivo climático e, para isso, utilizou-se o arquivo climático da cidade de Joinville-SC. Por meio desse, foram retiradas informações relacionadas ao clima, como a temperatura externa (máximas e mínimas mensais) e insolação por exemplo. Além disso, determinou-se que os períodos de simulação seriam de 15 minutos em um intervalo de dois anos (utilizados os anos de 2016 e 2017).

4.6.3.1 Resultados em função da transmitância térmica

Por meio da simulação computacional, obteve-se os resultados de transmitância térmica de cada uma das estruturas de cobertura identificadas conforme a Tabela 62. A Tabela 66 descreve os resultados.

Tabela 66 - Transmitância térmica de cada uma das estruturas de coberturas

Item	Descrição do tipo de cobertura	Fator U (W / m ² -K)
1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	5,34
2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	4,48
3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS	0,62
4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	7,28
5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC	0,66
6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto	0,64
7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS	0,34
8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje	0,68
9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	0,38
10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	0,38
11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	0,25
12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	0,39

Fonte: Autor

Com os resultados obtidos, classificou-se em ordem crescente de transmitância térmica para obter o item com melhor resultado, ou seja, o menor valor de “U”. Reforça-se que esta variável indica a quantidade de calor (em *Watts*) que a

superfície recebe por área unitária (em metros quadrados). A Tabela 67 demonstra o resultado desta classificação.

Tabela 67 - Classificação das coberturas conforme sua transmitância térmica

Posição	Item	Descrição do tipo de cobertura	Fator U (W / m ² -K)
1	11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	0,25
2	7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS	0,34
3	9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	0,38
4	10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	0,38
5	12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	0,39
6	3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS	0,62
7	6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto	0,64
8	5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC	0,66
9	8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje	0,68
10	2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	4,48
11	1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	5,34
12	4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	7,28

Fonte: Autor

Com isso, percebe-se que, dentre as coberturas analisadas, o item de número 11 (Telhado em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS) possui a menor transmitância térmica. Assim, é a estrutura de cobertura que “bloqueia” com mais eficiência o fluxo de calor.

4.6.3.2 Resultados em função do fluxo de calor

Além da transmitância térmica, outro fator utilizado para classificação das coberturas foram as relacionadas ao fluxo de calor. Para isso, foram medidos os fluxos de calor por convecção e as emissões de calor para a atmosfera pelas superfícies da edificação (calor “rebatido” pela composição dos materiais da envoltória). As Tabela 68 e Tabela 69 apresentam os resultados obtidos pela simulação realizada. Para as emissões de calor, obteve-se os dados referentes aos volumes anuais e meses mais significativos tanto para mais quanto para menos.

Tabela 68 - Emissão de calor pela convecção da envoltória

Item	Descrição do tipo de cobertura	Emissão de calor pela convecção da envoltória (kWh)
1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	2.110.389,11
2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	2.132.930,95
3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS	2.097.227,89
4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	2.082.975,00
5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC	2.078.736,07
6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto	2.078.377,74
7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS	2.068.655,44
8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje	2.097.022,33
9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	2.069.502,67
10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	2.075.169,38
11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	2.068.574,88
12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	2.073.474,92

Fonte: Autor

Tabela 69 - Emissão de calor para a atmosfera

Item	Descrição do tipo de cobertura	Emissão de calor para o ar (kWh)		
		Anual	Mínimo (mês)	Máximo (mês)
1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	1.055.516,81	52.307,13	121.015,41
2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	1.066.642,15	52.924,23	121.469,62
3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS	1.049.498,48	51.566,34	120.671,49
4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	1.042.000,34	51.510,58	120.414,56
5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" e forro de PVC	1.040.025,79	51.138,69	119.968,17
6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" e laje de concreto	1.040.796,71	51.241,60	119.639,00
7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" e laje de concreto com EPS	1.035.699,79	50.767,31	119.476,70
8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduíche" sem forro ou laje	1.034.502,72	50.571,23	119.763,45
9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e forro de PVC	1.035.531,09	50.680,02	119.744,44
10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e laje de concreto	1.039.509,74	50.850,82	119.868,98
11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	1.035.871,53	50.542,20	119.339,04
12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduíche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	1.037.465,57	50.819,57	119.948,17

Fonte: Autor

Seguindo o mesmo raciocínio, criaram-se as Tabela 70 e Tabela 71 com a classificação das coberturas, em ordem crescente, conforme seus resultados.

Tabela 70 - Classificação para emissão de calor pela convecção da envoltória

Posição	Item	Descrição do tipo de cobertura	Emissão de calor pela convecção da envoltória (kWh)
1	11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	2.068.574,88
2	7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS	2.068.655,44
3	9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	2.069.502,67
4	12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	2.073.474,92
5	10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	2.075.169,38
6	6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto	2.078.377,74
7	5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC	2.078.736,07
8	4	Cobertura em telha de aluminio simples sem forro ou laje	2.082.975,00
9	8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje	2.097.022,33
10	3	Cobertura em telha de aluminio simples e laje de concreto com EPS	2.097.227,89
11	1	Cobertura em telha de aluminio simples e forro de PVC	2.110.389,11
12	2	Cobertura em telha de aluminio simples e laje de concreto	2.132.930,95

Fonte: Autor

Tabela 71 - Classificação para emissão de calor para a atmosfera

Posição	Item	Descrição do tipo de cobertura	Emissão de calor para o ar (kWh)		
			Anual	Mínimo (mês)	Máximo (mês)
1	11	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS	1.035.871,53	50.542,20	119.339,04
2	7	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto com EPS	1.035.699,79	50.767,31	119.476,70
3	6	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e laje de concreto	1.040.796,71	51.241,60	119.639,00
4	9	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e forro de PVC	1.035.531,09	50.680,02	119.744,44
5	8	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" sem forro ou laje	1.034.502,72	50.571,23	119.763,45
6	10	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto	1.039.509,74	50.850,82	119.868,98
7	12	Cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha sem forro ou laje	1.037.465,57	50.819,57	119.948,17
8	5	Cobertura em telha de alumínio tipo "sanduiche" e forro de PVC	1.040.025,79	51.138,69	119.968,17
9	4	Cobertura em telha de alumínio simples sem forro ou laje	1.042.000,34	51.510,58	120.414,56
10	3	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto com EPS	1.049.498,48	51.566,34	120.671,49
11	1	Cobertura em telha de alumínio simples e forro de PVC	1.055.516,81	52.307,13	121.015,41
12	2	Cobertura em telha de alumínio simples e laje de concreto	1.066.642,15	52.924,23	121.469,62

Fonte: Autor

Analisando as Tabela 70 e Tabela 71 com as classificações dos resultados, percebeu-se que a cobertura com melhor eficiência em impedir a entrada do calor foi o item de número 11 (telhado em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS) para ambas. Semelhante a classificação anterior em que foi baseado na transmitância térmica.

4.6.3.3 Análise dos resultados obtidos nas simulações

Portanto, pode-se afirmar que, segundo os resultados obtidos, a cobertura que oferece o melhor desempenho térmico é o conjunto formado por cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS devido à redução considerável de entrada de calor no ambiente interno. Assim, pode-se afirmar que ela proporciona um melhor ambiente de trabalho e ocupação para seus usuários.

5 CONCLUSÃO

O desempenho térmico de uma edificação é de fundamental importância para seu uso e ocupação, inclusive para espaços industriais, temática deste trabalho, ambientes esses que raramente são refrigerados artificialmente e, por geralmente serem horizontais e com grandes dimensões de cobertura, estão mais suscetíveis a forte incidência solar. Por isso, utilizar soluções mais eficientes torna-se tão importante para o conforto dos usuários.

A proposta apresentada neste estudo teve como premissa analisar o desempenho térmico das coberturas de edificações industriais na cidade de Joinville/SC, afim de identificar as melhores opções de composição de materiais para estruturas de coberturas, com vistas à melhoria do conforto térmico interno para os usuários. De posse dos dados coletados e por meio da aplicação de formulas de fluxo de calor e simulação computacional no estudo de caso, foi possível concluir que o objetivo geral definido da pesquisa foi atingido.

Por meio do estudo realizado, foi possível confirmar que a cobertura de uma edificação industrial é o componente da envoltória que mais contribui com a incidência de calor no ambiente interno, principalmente por suas plantas serem, predominantemente, áreas horizontais e com grandes dimensões. Então, diferindo das edificações verticais (prédios), onde suas fachadas apresentam significativa contribuição, para os galpões, os ganhos de calor são menores comparados ao telhado.

Analisando os resultados e classificações obtidas com os cálculos de fluxo de calor e com as simulações, observou-se que em ambos os métodos a estrutura composta por cobertura em telha de alumínio tipo sanduiche com manta de lã de rocha e laje de concreto com EPS apresentou os melhores resultados de desempenho térmico e, conseqüentemente, o melhor conforto térmico aos seus usuários.

Assim, foi possível observar que os tipos de materiais influenciam diretamente no desempenho térmico das estruturas, existindo composições que reduzem significativamente a entrada de calor nos ambientes em comparação a outras. Por isso, a importância em escolher os tipos de coberturas para cada um dos tipos de uso e ocupação do local analisado, isso garantirá uma melhor eficiência e produtividade dos usuários nos ambientes com temperaturas mais próximas do ideal.

Esta pesquisa limitou-se a analisar a influência da cobertura no desempenho térmica das edificações industriais, uma sugestão para estudos futuros seria incluir as rotinas e equipamentos industriais e identificar as influências de cada um dos tipos de indústrias (fundição, montadoras, usinagem, galpões logísticos, etc.).

Além disso, outra sugestão seria realizar análise com a mesma estrutura de galpões em diferentes localidades e climas, observando os novos resultados ao submeter maiores níveis de aquecimento ou resfriamento.

Por fim, outra sugestão seria o estudo com painéis solares para geração de energia sobre a cobertura, como são áreas de grandes dimensões, seria possível gerar uma quantidade significativa de energia na sua produção máxima.

REFERENCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações**. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a. Disponível em: http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_9080nby_15220_pdf.pdf. Acesso em: 14 set. 2019.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações** Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/27316/nbr15220-2-desempenho-termico-de-edificacoes-parte-2-metodo-de-celulo-da-transmitancia-termica-da-capacidade-termica-do-atraso-termico-e-do-fator-solar-de-elementos-e-componentes-de-edificacoes>. Acesso em: 14 set. 2019.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET2004.pdf. Acesso em: 14 set. 2019.

ADAMCZYKA, J.; DYLEWSKI, R. The impact of thermal insulation investments on sustainability in the construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 421–429, 2017.

AL-SALLAL, K. A.; AL-RAIS, L. Outdoor Airflow Analysis and Potential for Passive Cooling in the Modern Urban Context of Dubai. **Renewable Energy**, v. 38, n. 1, p. 40-49, 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/36514646/Outdoor_airflow_analysis_and_potential_for_passive_cooling_in_the_modern_urban_context_of_Dubai. Acesso em: 12 out. 2019.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RE nº9. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RE_09_2003.pdf/f4af80d4-8516-4f9c-a745-cc8b4dc15727. Acesso em: 01 nov. 2019.

BABICK, C. S.; TORRES, M. C. A. Análise do desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão de edifício escolar do FNDE de acordo com os requisitos de normas e referenciais nacionais e internacionais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 4, n.2, p. 110-128, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2283>. Acesso em: 07 set. 2019.

BOGO, A. J.; PICKLER, I. H. Estratégias arquitetônicas de conforto térmico em projetos de edifícios verticais. **Holos**, [s.l.] v.02, n. 32. p. 79-95. abr. 2017. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4753>. Acesso em: 15 set. 2019.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL - CEF. **Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável.** São Paulo: Páginas e Letras – Editora e Gráfica, 2010.

CAMIOTO, F. de C.; REBELATTO, D. A. do N.; ROCHA, R.T. Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados. **Gestão e Produção**, São Carlos, v.23, n.1, p.192-203. jan./mar. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/2018nahead/0104-530X-gp-0104-530X3925-18.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais.** 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Joyce_Correna_Carlo.pdf. Acesso em: 14 set. 2019.

CHLELA, F.; HUSAUNNDEE, A.; RIEDERER, P.; INARD, C. A statistical method to improve the energy efficiency of an office building. **Proceedings: Building Simulation**, Beijing, p. 1756-1764, 2007. Disponível em: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p365_final.pdf. Acesso em: 12 out. 2019.

CIOCCI, Marcus V., Reflexos do excesso de calor na saúde e na redução da Produtividade, Add Eletronics, Compilado a partir das publicações: **Excessive Heat and Worker Safety** – Universidade da Pensilvânia e NASA Report CR- 1205-VOL-1 "Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment"

COELHO, T. da C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absorvência solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147-161, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/63379>. Acesso em: 08 abri. 2020.

CONTE, A. L. Qualidade de vida no trabalho. **FAE Business**, n. 7, p. 32-34, nov. 2003. Disponível: <https://img.fae.edu/galeria/getImage/1/16571247435940246.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, out./dez. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400010&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 12 out. 2019.

FANTE, K. P.; DUBREUIL, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Avaliação comparativa entre metodologias de identificação de situações de conforto térmico humano aplicado ao contexto tropical, presidente prudente/brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.21, n.13. p.588-612, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/53839>. Acesso em: 12 out. 2019.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183-200,

jan./mar. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314145300_Discussao_dos_limites_das_propriedades_termicas_dos_fechamentos_opacos_segundo_as_normas_de_desempenho_termico_brasileiras. Acesso em: 17 out. 2019.

FERREIRA, M.; CORVACHO, H.. The effect of the use of radiant barriers in building roofs on summer comfort conditions: a case study. **Energy and Buildings**. v.176, p.163-178, out. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881733637X>. Acesso em: 08 abr. 2020.

FLECKINGER, P.; GLACHANT, M.; KAMBA, P.T.. Energy Performance Certificates and investments in building energy efficiency: A theoretical analysis. **Energy Economics**. v.84, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988319303998> Acesso em: 08 abr. 2020

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5 ed. São Paulo. Ed Studio Nobel, 2001. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>. Acesso em: 01 set. 2019.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010.

GIVONI, B. Climatic aspects of urban design in tropical regions. **Atmospheric Environment**, Great Britain, v. 26B, n. 3, p. 397-406, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095712729290015K>. Acesso em: 12 out. 2019.

GOOGLE MAPS. **Imagens de satélite**. Joinville: Google, 2019. Joinville, escala aproximada 1:40.000. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Distrito+Industrial,+Joinville+-+SC/@-26.2525863,-48.8542543,14.04z/data=!4m5!3m4!1s0x94dea57c50d52dc9:0xa560ed747145159d!8m2!3d-26.2538048!4d-48.871751>. Acesso em 19 out. 2019.

GRÜNBERG, P. R. M. **Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação: estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GUZMÁN-SÁNCHEZ, S. JATO-ESPINO, D. LOMBILLO, I. DIAZ-SARACHAGA, J. M.. Assessment of the contributions of different flat roof types to achieving sustainable development. **Building and Environment**. v.141, p.182-192, abr./maio. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318303354>. Acesso em: 08 abr. 2020.

HABIBI, S.; OBONYO, E. A.; MEMARI, A. M.. Design and development of energy efficient re-roofing solutions. **Renewable Energy**. jul./nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119318221>. Acesso em: 08 abr. 2020.

INMETRO - instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**, Rio de Janeiro, 2012. disponível em: <http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/manuais>. acesso em: 22 set. 2019.

INMETRO - instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial. **Portaria nº50 - ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS**. Rio de Janeiro, fev. 2013. disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. acesso em: 26 set. 2020.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf. Acesso em: 22 set. 2019.

KACHKOUCH, S.; AIT-NOUH, F.; BENHAMOU, B.; LIMAM, K.. Experimental assessment of thermal performance of three passive cooling techniques for roofs in a semi-arid climate. **Energy and Buildings**. v.164, p.153-164. fev. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817324593>. Acesso em: 08 abr. 2020.

KRÜGER, E. L.; MORI, F. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 89-106, jul./set. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n3/v12n3a07.pdf>. Acesso em: 07 set. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Revisada. São Paulo. Ed Pro Livros, 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>. Acesso em: 07 set. 2019.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Material apresentado a disciplina ECV 5161. Florianópolis: Departamento de Engenharia Civil. UFSC, 2011. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila_ECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 07 set. 2019.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de edificações: Aula 09: Desempenho térmico de paredes e coberturas**. Material apresentado a disciplina ECV 5161. Florianópolis: Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. 2018. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/ensino/graduacao/ecv5161>. Acesso em: 07 set. 2019.

LAMBERTS, R.; PAPST, A. L. **A biometereologia e o ambiente construído**. Anais do III Congresso Brasileiro de Biometeorologia. Maringá, 2001.

LEITZKE, R. K. CUNHA, E. G. da; SILVA, O. M. da; SILVA, A. C. S. B. da; BELTRAME, C. M. Avaliação de dispositivos de proteção solar fixos e automatizados para edifício

residencial. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 59-72, mar. 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649657>. Acesso em: 14 set. 2019.

LIDA, I.; Buarque, L. **Ergonomia: projeto e produção**. Ed. Blucher, 3ª edição revisada. São Paulo, 2000.

LIMA, L. C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B.; SOUZA, E. L. de. Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 109-127, abr./jun. 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1678-86212019000200109&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 12 out. 2019.

LUKANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M. Análise de conforto térmico na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. **Paranoá**, Brasília, n. 12, p. 33-44, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315598499_Analise_do_conforto_termico_na_obra_de_Joao_Filgueiras_Lima_Lele_hospitais_Sarah_de_Salvador_e_do_Rio_de_Janeiro. Acesso em: 15 set. 2019.

MADEIRA, A. Q. **Zoneamento Bioclimático do Estado do Paraná**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_17f5be929cafb77d932abcf11864901c. Acesso em: 13 out. 2019.

MARTINS, T. A. DE L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. de L. B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n2/05.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Evaluation of Heat Flux Reduction Provided by the Use of Radiant Barriers in Clay Tile Roofs. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 16, p.445-451, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239370776_Evaluation_of_heat_flux_reduction_provided_by_the_use_of_radiant_barriers_in_clay_tile_roofs. Acesso em: 12 out. 2019.

MICHELS, C.; GUTHS, S.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.. Development of an experimental test rig for the evaluation of the thermal performance of building roofs. **Energy & Buildings**. v.180, p.32-41, dez. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818307564>. Acesso em: 08 abr. 2020.

NAKAMURA, N. K.; MACIEL, L. F.; CARLO, J. C. Impactos de medidas de conservação de energia propostas no PBE Edifica para o nível de eficiência energética de envoltórias de um edifício naturalmente condicionado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 105-19, out./dez. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v13n4/v13n4a08.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B.. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281341067_Quando_a_janela_define_a_condicao_de_desempenho_termico_em_ambientes_ventilados_naturalmente_caso_especifico_das_edificacoes_multifamiliares_em_Vitoria_ES?opdsd=1. Acesso em: 12 out. 2019.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards For Buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/ADAPTIVE-THERMAL-COMFORT-AND-SUSTAINABLE-THERMAL-Nicol-Humphreys/346a9f17076b728357e679e6c7e2216cd9681e16>. Acesso em: 22 out. 2019.

ORDENES, M.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Estimativa de propriedades termofísicas em campo usando modelos de transferência de calor e umidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 19-35, out./dez. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400003&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 12 out. 2019.

PRADO, A. K. J. A.; SILVA, C. F.; RÔMERO, M. de A. Avaliação do custo-benefício do retrofit da envoltória em um edifício público, com suporte de simulação computacional. **Paranoá**, Brasília, n. 22, p. 88-101, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/25640>. Acesso em: 07 set. 2019.

PROCEL. **Procel Edifica** – Eficiência energética nas edificações. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 25 ago. 2019.

RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Plural Art & FUNDACENTRO, 1999. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/publicacao/detalhe/2011/6/conforto-termico-nos-ambientes-de-trabalho>. Acesso em: 07 set. 2019.

RORIZ, M. **Classificação de climas do do Brasil – versão 3.0**. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em: < <http://https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro> >. Acesso em: 12 set. 2020.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012a. Disponível em: < <http://https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro> >. Acesso em: 12 set. 2020.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012b.

Disponível em: < [http:// https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro](http://https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro) >. Acesso em: 12 set. 2020.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive Building Energy Savings: a review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3617-3631, 2011. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v15y2011i8p3617-3631.html>. Acesso em: 27 out. 2019.

SPECHT, L. P.; BORGES, P. A. P.; RUPP, R. F.; VARNIER, R. Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 7-18, out./dez. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400002&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 12 out. 2019.

STAVRAKAKIS, G. M.; ZERVAS, P. L.; SARIMVEIS, H.; MARKATOS, N. C. Optimization of Window-Openings Design For Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 1, p. 193-211, jan. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11003635>. Acesso em: 09 out. 2019.

TAHA, H. *et al.* Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v. 23, p. 271-283, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360132388900339>. Acesso em: 08 abr. 2020.

TAMANINI, C. A. de M. **Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá – PR**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/83024>. Acesso em: 13 out. 2019.

TRINDADE, S. C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 37-58, out./dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n4/a04v10n4.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

VERDUSSEN, R. **Ergonomia: a racionalização humanizada do trabalho**. Livros técnicos e Científicos, p. 132-133. Rio de Janeiro, 1978.

VERGARA, L. G. L. **Análise das condições de conforto térmico de hospital universitário de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Lizandra_Garcia_Lupi_Vergara.pdf. Acesso em jan. 2021.