

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MARCIO NEIDORF JUNIOR

ACUMULADOR TÉRMICO TRANSLÚCIDO PARA COBERTURAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

MARCIO NEIDORF JUNIOR

ACUMULADOR TÉRMICO TRANSLÚCIDO PARA COBERTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior.

PATO BRANCO

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

ACUMULADOR TÉRMICO TRANSLÚCIDO PARA COBERTURAS

MARCIO NEIDORF JUNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 13/11/2017 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Jean Marc Stephane Lafay
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Paulo Cezar Adamczuk
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

RESUMO

NEIDORF, Marcio Junior. Compartilhamento da informação e do conhecimento em bibliotecas especializadas. 2017. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Acumulador térmico translúcido para coberturas) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um acumulador térmico translúcido para ser utilizado como parte integrante de coberturas de barracões industriais. Primeiramente foi executado um levantamento bibliográfico abordando os temas de conforto térmico, materiais utilizados para coberturas os modos de interação destes com o meio externo e definições quanto a local escolhido para análise. Posteriormente elaborou-se a etapa de metodologia explanando sobre as interações óticas e térmicas dos meios selecionados assim como foi decidido o arranjo construtivo final do equipamento. As taxas obtidas para transmissividade, absorvidade e refletividade foram utilizadas para quantificar as porções de energia luminosa transmitidas para o ambiente interno e as taxas de transferência de calor foram necessárias para o dimensionamento da lâmina d'água contida no interior do equipamento de modo a garantir o isolamento térmico do ambiente em questão. O equipamento demonstrou melhores resultados quanto ao isolamento térmico e resultados satisfatórios quanto ao comportamento ótico quando comparado com uma placa translúcida convencional sendo, portanto, considerada viável sua construção.

Palavras-chave: Transferência de calor, materiais translúcidos, propriedades óticas.

ABSTRACT

NEIDORF, Marcio Junior. Information and knowledge sharing in special libraries. 2017. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Acumulador térmico translúcido para coberturas) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

This work presents the development of a translucent thermal accumulator to be used as an integral part of roofs of industrial sheds. Firstly, a bibliographical survey was carried out, addressing the topics of thermal comfort, materials used for coverings, the interaction modes of these with the external environment and definitions of the location chosen for analysis. Posteriorly, the methodology step was elaborated, explaining about the optical and thermal interactions of the selected media as well as the final constructive arrangement of the equipment had been decided. The rates obtained for transmissivity, absorptivity and reflectivity were used to quantify the portions of light energy transmitted to the internal environment and the heat transfer rates were necessary for the dimensioning of the water sheet contained inside the equipment in order to guarantee the thermal insulation of the environment in question. The equipment showed better results regarding thermal insulation and satisfactory results regarding optical behavior when compared to a conventional translucent plate and therefore its construction is considered viable.

Keywords: Heat transfer, translucent materials, optical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção da população brasileira 2018	11
Figura 2 - Radiação solar brasileira diária	14
Figura 3 - Comportamento das propriedades poliméricas	27
Figura 4 - Espectro da radiação eletromagnética	42
Figura 5 - Radiação solar: Incidência	44
Figura 6 - Distribuição das placas translúcidas	46
Figura 7 - Geometria das placas translúcidas	47
Figura 8 - Diagrama ótico	63
Figura 9 - Orientação do equipamento	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo energético brasileiro.....	12
Tabela 2 - Escala de sensação térmica	19
Tabela 3 - Energia dissipada devido á atividades	21
Tabela 4 - Energia dissipada devido ao vestuário.....	22
Tabela 5 - Característica do polímero PVC.....	29
Tabela 6 - Característica do polímero polipropileno	31
Tabela 7 - Comparativo entre PVC e polipropileno	32
Tabela 8 - Índices de refração aproximados	35
Tabela 9 - Índices de refração dos materiais.....	36
Tabela10 - Valores típicos do coeficiente convectivo	40
Tabela 11 - Propriedades analisadas.....	48
Tabela 12 - Absorbância espectral da água líquida	66
Tabela 13 - Índice de refração dos componentes do trocador de calor.....	67
Tabela 14 - Ângulos de incidência crítica	69
Tabela 15 - Taxas de reflexão resultante da associação de meios existentes no trocador de calor	70
Tabela 16 - Taxas de transmissividade dos meios do trocador de calor.....	72
Tabela 17 - Taxas de transmissão da lâmina d'água	73
Tabela 18 - Taxas de absorção resultante da associação de meios existentes no trocador de calor	74
Tabela 19 - Espectro da radiação solar.....	75
Tabela 20 - Taxas de energia transmitida a cada meio material.....	76
Tabela 21 - Comparativo entre equipamentos	77
Tabela 22 - Temperatura do ambiente externo	78
Tabela 23 - Valores derivados experimentalmente para a variável k_1	80
Tabela 24 - Valores derivados experimentalmente para a variável ΔT	80
Tabela 25 - Valores calculados para as variáveis T_{avg} e GT_{avg}	81
Tabela 26 - Temperaturas internas obtidas.....	81
Tabela 27 - Temperaturas adotadas	82
Tabela 28 - Propriedades da água saturada	83
Tabela 29 - Valores calculados de Graetz	85
Tabela 30 - Relação construtiva para a lâmina d'água	86
Tabela 31 - Resultados obtidos: número de Nusselt e coeficiente convectivo	87
Tabela 32 - Valores finais.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 JUSTIFICATIVA	17
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 CONFORTO TÉRMICO	19
4.1.1 Parâmetros Individuais	20
4.1.1.1 Metabolismo	20
4.1.1.2 Trabalho	20
4.1.1.3 Vestuário	22
4.1.2 Parâmetros ambientais.....	23
4.1.2.1 Verão	23
4.1.2.2 Inverno	24
4.2 COBERTURAS.....	24
4.2.1 Matéria prima	24
4.2.1.1 Materiais compósitos	25
4.2.1.2 Materiais polímeros	26
4.2.1.2.1 Plásticos	27
4.2.1.2.2 Elastômeros.....	28
4.2.1.2.3 Fibras	28
4.2.1.2.4 Cloreto de polivinil	29
4.2.1.2.5 Polipropileno	30
4.2.1.2.6 Polipropileno copolímero randômico (RCP).....	30
4.2.1.3 Comparativo de materiais.....	31
4.2.2 Ótica dos polímeros.....	33

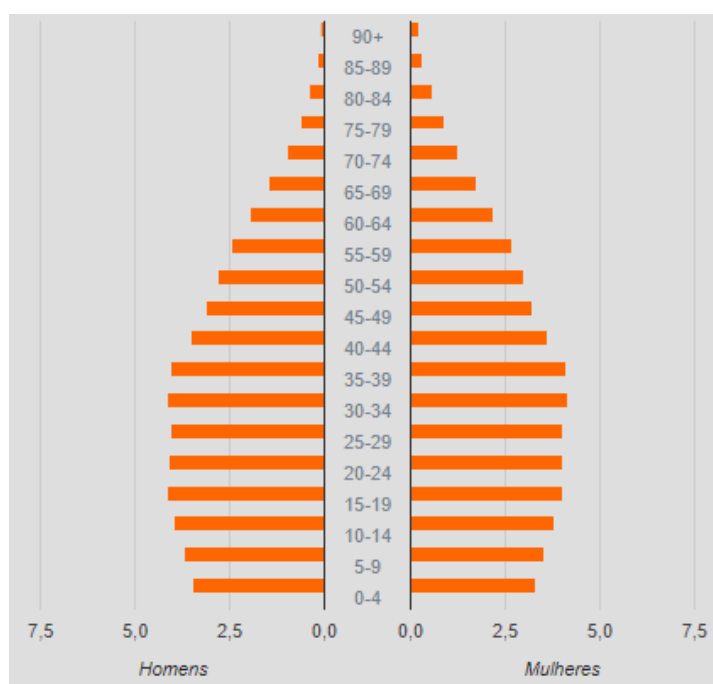
4.3 PROPAGAÇÃO DA LUZ	33
4.4 PROPRIEDADES ÓTICAS.....	34
4.4.1 Índice de refração	35
4.4.2 Reflexão	35
4.4.3 Absorção	37
4.4.4 Transmissão.....	37
4.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS	38
4.5.1 Condução térmica	38
4.5.2 Convecção térmica.....	39
4.5.3 Radiação térmica	40
5 METODOLOGIA.....	43
5.1 DADOS DE ENTRADA.....	43
5.1.1 Temperatura do ambiente externo.....	43
5.1.2 Insolação e radiação solar.....	44
5.1.3 Conforto térmico	44
5.1.4 Inclinação de coberturas.....	45
5.1.5 Especificações dos materiais	45
5.2 ARRANJO FÍSICO.....	46
5.3 SELEÇÃO DA GEOMETRIA DAS PLACAS	46
5.4 SELEÇÃO DO MATERIAL DAS PLACAS	47
5.5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO.....	48
5.5.1 Análise térmica	49
5.5.1.1 Meio externo – Placa externa e Placa interna – Meio interno.....	49
5.5.1.1.1 Condução térmica.....	49
5.5.1.1.2 Convecção térmica	51
5.5.1.1.3 Radiação térmica.....	51
5.5.1.2 Placa externa - Camada d'água, Camada d'água – Placa interna	54

5.5.1.2.1	Condução térmica.....	54
5.5.1.2.2	Convecção térmica.....	56
5.5.1.2.3	Escoamento interno versus externo.....	57
5.5.1.2.4	Escoamento laminar versus turbulento.....	58
5.5.1.2.5	Escoamento natural versus forçado.....	59
5.5.1.2.6	Escoamento Permanente versus transiente.....	60
5.5.1.2.7	Definição das camadas limites.....	60
5.5.1.2.8	Radiação térmica.....	61
5.5.2	Análise ótica.....	61
6	DESENVOLVIMENTO.....	65
6.1	ANÁLISE ÓTICA.....	65
6.1.1	Absorbância:.....	65
6.1.1.1	Índice de refração.....	66
6.1.2	Reflexão.....	67
6.1.3	Transmissividade.....	71
6.1.4	Absorção.....	73
6.2	RADIAÇÃO SOLAR.....	74
6.3	ANÁLISE TÉRMICA.....	78
6.3.1	Temperatura Interna.....	79
6.3.2	Temperatura da placa translúcida superior.....	81
6.3.3	Análise das trocas de calor.....	82
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	91
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a população mundial atualmente se encontra na casa dos sete bilhões de habitantes, com projeções para alcançar 11,2 bilhões ainda no ano de 2100. No Brasil já contamos com 207 milhões de pessoas e um nascimento pode ser registrado a cada 20 segundos fazendo com que a população aumente cada vez mais. Aliado a este crescimento, existe o aumento da demanda pelo desenvolvimento de novos meios e tecnologias que sejam capazes de proporcionar melhor qualidade de vida para as pessoas, logo à medida que a população aumenta, o nível do uso de tais tecnologias aumenta em igual ou maior escala. No Brasil, o problema acima se agrava quando se leva em conta a idade média da população, pois percebe-se que existe uma região concentrada de pessoas entre os 14 e 34 anos (figura 1), faixa etária que costuma consumir maiores parcelas de energia devido a sua capacidade ativa e dominadora dos recursos tecnológicos, recursos estes que por sua vez necessitam de um meio externo para seu pleno funcionamento, recaindo assim sobre o aumento do consumo energético.

Figura 1 - Projeção da população brasileira 2018



Fonte: IBGE (2010)

Além do fator crescimento humano pode-se citar o fortalecimento da economia como um motivador de crises energéticas, quando se é analisada a quantidade de energia necessária para se prover o desenvolvimento de um determinado produto. No Brasil segundo a ANEEL e OMM (2002) a principal forma de energia utilizada no país seria a energia elétrica (tabela 1), fato que gera maior preocupação à medida que esta é produzida de forma limitada e as custas de grandes impactos ambientais. Logo baseado nestes dados percebe-se esta fonte de energia como uma espécie de gargalo do desenvolvimento humano, aonde se não trabalhado sobre seus limites poderão existir problemas futuros com sua disponibilidade e seu abastecimento.

Tabela 1 - Consumo energético brasileiro

Consumo final energético por fonte (10 ³ tep)			
Fonte	2006	2007	Variação %
Eletricidade	33,536	35,443	5,7
Óleo diesel	32,816	34,836	6,2
Bagaço de cana	24,208	26,745	10,5
Lenha	16,414	16,310	-0,6
Gás natural	13,625	14,731	8,1
Gasolina	14,494	14,342	-1
Álcool etílico	6,395	8,612	34,7
Gás liquefeito de petróleo	7,199	7,433	3,2
Outras fontes	39,887	42,957	7,7

Fonte: ANEEL e OMM (2002)

Segundo Energia (2014), em novembro de 2014, o consumo de energia elétrica atingiu 48.381 GWh em sua totalidade, verificando um aumento de 2,7% em comparação com o consumo de novembro de 2013. O consumo comercial lidera com um aumento de 7,8%, onde segundo o mesmo relatório essa expansão se justifica em detrimento do aumento da demanda na climatização de ambientes, tanto em pequenos comércios quanto em segmentos de maior parte. Logo atrás temos o consumo residencial que apresentou crescimento de 5,9% em relação ao mesmo

período do ano anterior, e em último lugar registra-se a queda do consumo industrial de 4,5% devido ao início da crise econômica que se instaura no país.

Logo, trabalhando nesta atmosfera, torna-se necessário a introdução do conceito sustentabilidade onde se busca “atender a demanda atual sem prejudicar a capacidade de atendimento a demandas futuras”. Portanto o desenvolvimento de um mecanismo que busque reduzir o nível de consumo de energia elétrica torna-se extremamente viável.

Baseado nos setores que mais consomem energia elétrica, e nas aplicações em que esta energia é utilizada, percebe-se um grande uso corresponde à parte de iluminação e de climatização, sendo assim fazendo uso da posição estratégica brasileira como país tropical pretende-se utilizar os níveis de incidência solar para estudar a viabilidade do uso de coberturas translúcidas, fazendo com que a iluminação natural possa substituir a iluminação artificial, trazendo consigo benefícios a saúde humana como a síntese da vitamina D, benefícios a economia com a redução dos gastos com iluminação e benefícios ao meio ambiente a partir do momento em que reduzindo o consumo elétrico torna-se dispensável a exploração de diferentes meios não sustentáveis de produção desta energia.

Utilizando componentes translúcidos para coberturas de telhados já disponíveis em mercado pretende-se produzir um produto que evite o aquecimento interno das edificações em que fora instalado, sem comprometer o nível de iluminação proposto. Para suprir tal demanda pretende-se utilizar uma dupla camada de folhas translúcidas, de forma a se sobrepor uma sobre a outra, deixando apenas uma fina camada oca por onde pretende se forçar a passagem de certa quantidade d'água, que como boa condutora deve retirar o calor absorvidos pelas laminas evitando o aquecimento interno da edificação.

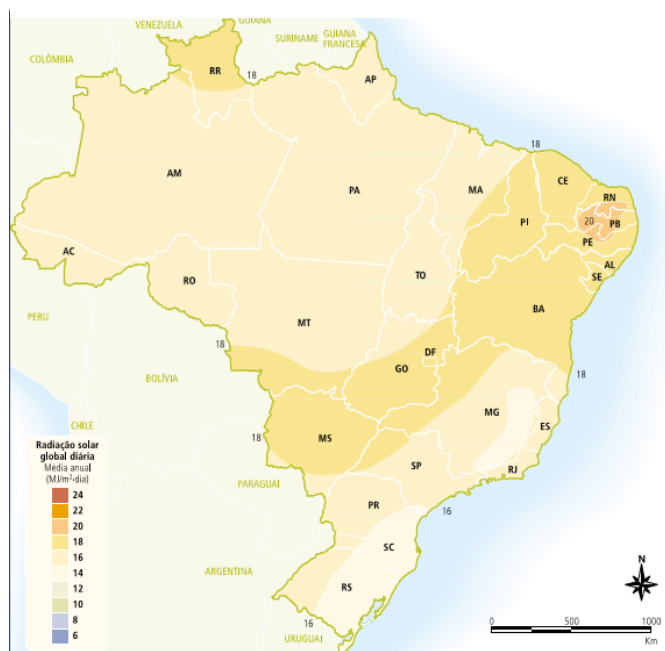
Este mecanismo deve contar com estrutura própria preparada para suportar seu sobrepeso e para seu perfeito alocamento. Além de sua estrutura deve haver também um reservatório próprio para a alimentação e armazenamento da água utilizada para a remoção de calor do sistema, sendo necessária então a existência de um boiler, pois como a função da água é absorver calor, está terá sua temperatura elevada, e poderá ser reutilizada posteriormente para outras funções.

Esta proposta conta com a vantagem de atuar em mais de uma atmosfera simultaneamente, pois atuará como redutor dos gastos com iluminação interna predial

por ser translúcido, buscará manter o conforto térmico interno das instalações através da retirada de calor provida pela água, e como consequência, disponibilizará água aquecida para posterior utilização, porém, existe certa desvantagem quanto ao quesito localização, pois para o seu pleno uso, um mínimo nível de incidência solar deve ser identificado, impossibilitando assim sua instalação em determinados locais.

Se tratando de Brasil, no entanto, esta desvantagem é menor, pois segundo os dados disponibilizados pela Colle e Pereira (1998) (figura 3), o Brasil devido a sua localização próximo a linha do equador, tem na maioria de seu território bons níveis de incidência solar, tendo a região nordeste como uma das regiões mais próspera para o desenvolvimento de tecnologias que utilizem radiação solar como fonte de energia, pois nesta região, os níveis de incidência solar e o tempo de exposição de céu aberto se equiparam as duas melhores regiões do mundo nestes quesitos, tornando-se assim o Brasil uma região propícia para o desenvolvimento de tal projeto.

Figura 2 - Radiação solar brasileira diária



Fonte: Aneel, 2008

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Projetar um trocador de calor solar translúcido, que possa ser utilizado como componente de coberturas construído através de componentes existentes, que seja capaz de aproveitar a energia luminosa solar na iluminação de ambientes fechados, sem que ocorra o aquecimento interno de tais ambientes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral pode ser quebrado de forma a gerar objetivos específicos que terão sua importância definida de acordo com a ordem de apresentação.

- Cálculo da transferência de energia luminosa ao ambiente interno;
- Cálculo da transferência de energia térmica ao ambiente interno;
- Cálculo da transferência de energia térmica a água do regime de trabalho;
- Cálculo da massa d'água necessária para promover isolamento térmico.

3 JUSTIFICATIVA

A proposta do trabalho em questão, é o desenvolvimento conceitual e técnico de um acumulador solar translúcido que possa substituir o uso de telhas translúcidas comuns, sem causar interferência no conforto térmico interno da habitação em que for utilizado.

O projeto é voltado para coberturas de barracões industriais cujo objetivo conforme já descrito é gerar economia de energia elétrica utilizada para iluminação e ou refrigeração dos meios existentes.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CONFORTO TÉRMICO

Segundo Ruas (1999), conforto térmico pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa em um determinado ambiente, cuja exista a combinação satisfatória dos parâmetros de temperatura radiante média (T_{rm}), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (T_a) e velocidade relativa do ar (V_r) com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

Tal qual a sensação humana é um dado subjetivo, e varia de acordo com cada pessoa, a ISSO 7730 considera que para que um espaço possua condições de conforto térmico, quando cerca de 90% das pessoas que no local se encontram, se sintam termicamente confortáveis, já a norma técnica NBR 16 401 -1, estipula um valor mínimo de 80% para a opinião de todos que partilham o local estudado. Para a análise dos dados fornecidos pelos ocupantes da habitação estudada, a ASHARE desenvolveu uma escala de sensação térmica que relaciona a sensação sentida por cada pessoa a um número específico.

Tabela 2 - Escala de sensação térmica

Sensação Térmica	Escala
Muito frio	-3
Frio	-2
Levemente Frio	-1
Neutro	0
Levemente Quente	1
Quente	2
Muito Quente	3

Fonte: NBR 16 401 -2

De acordo com a norma técnica NBR 16 401 -2 a avaliação desta tabela entre $-0,5$ e $+0,5$ corresponde a região de conforto térmico.

Em geral os fatores que interferem nas relações de conforto térmico podem ser divididos em dois grupos distintos, sendo eles os parâmetros individuais, que fazem menção às pessoas que habitam determinado local, e os parâmetros ambientais, que

levam em consideração as condições do meio a que se pretende estudar, sem levar em consideração as tarefas que se pretendem executar em tal local. No entanto, pode haver também correlações externas que venham a interferir nos dados cabíveis aos dois grupos, pois como, por exemplo, a utilização ou convivência de pessoas e ambientes com a existência de máquinas térmicas (neste caso considera-se todo e qualquer equipamento capaz de produzir calor durante a execução de algum tipo de trabalho), pode e deve interferir nos parâmetros inicialmente levantados, levando assim a um reestudo dos parâmetros de conforto térmico.

4.1.1 Parâmetros Individuais

4.1.1.1 Metabolismo

O metabolismo corresponde à taxa de utilização de energia pelo corpo. O metabolismo subdivide-se no metabolismo basal e de atividade. O metabolismo basal corresponde à taxa verificada durante o repouso absoluto, mas acordado. O metabolismo de atividade está relacionado com o esforço. (ISSO 7730)

4.1.1.2 Trabalho

Tipicamente a avaliação de conforto verifica-se em casos em que o trabalho realizado é nulo ou corresponde apenas a dissipações por atrito, tais como, pessoas sentadas ou em andamento contínuo. A quantificação do trabalho realizado para o exterior corresponde à variação da energia cinética e potencial (por exemplo, na subida de escadas). (ISSO 7730).

Tabela 3 - Energia dissipada devido á atividades

Atividade	W / m ²
Indústria mecânica	
Trabalho em máquina ferramenta	
Leve	100,00
Médio	140,00
Pesado	210,00
Indústria mecânica	
Trabalho com ferramenta manual	
Leve	100,00
Médio	160,00
Pesado	230,00
Trabalho em bancada sentado	64,00
Trabalho em fundição	
Moldagem de peças pequenas	140,00
Moldagem de peças médias	285,00
Martelete pneumático	175,00
Limpeza e rebarbação	175,00
Trabalho no escritório	
Digitando	70 a 81
Desenhando	64 a 76

Fonte: Ruas, 1999

4.1.1.3 Vestuário

O vestuário é caracterizado através da sua resistência térmica variante de acordo com a vestimenta, tipo de tecido, tamanho e também quantidade. A vestimenta é responsável por isolar o calor do corpo humano a fim de evitar que este promova trocas térmicas com o meio externo.

Tabela 4 - Energia dissipada devido ao vestuário

Itens de Vestuário	CLO (0,155 K.m ² / W)
Roupas de baixo	
Sutiã	0,01
Calcinha	0,03
Calcinha e sutiã curtos	0,04
Meia calça	0,02
Cueca	0,03
Ceroula	0,04
Camiseta sem manga	0,06
Camiseta manga curta	0,1
Camiseta manga longa	0,12
Camisas, camisetas e blusas	
Camisa com gola, manga longa	0,33
Camisa com gola, manga curta	0,25
Camisa esporte, manga curta	0,17
Camisa sem mangas	0,13
Blusa manga longa	0,34
Blusa feminina manga longa	0,33
Blusa feminina manga média	0,27
Calças, shorts e bermudas	
Calça folgada	0,24
Calça justa	0,26
Calça de trabalho	0,24
Short	0,08
Bermuda até o joelho	0,17
Jardineira	0,3
Macacão manga longa	0,52

Fonte: Ruas, 1999

4.1.2 Parâmetros ambientais

De acordo com a norma técnica NBR 16 401 – 2, que trata de parâmetros de conforto térmico para locais de instalação de ar condicionados, os fatores que afetam o conforto térmico de edificações são: a temperatura de operação, a velocidade do ar, e a umidade relativa do ar no interior da edificação.

- Temperatura do ar: Temperatura de bulbo seco do ar no entorno dos habitantes;
- Umidade relativa do ar: Relação entre a quantidade de água contida no ar e quantidade máxima que poderia haver á mesma temperatura;
- Velocidade do ar: Taxa de movimentação do ar em um determinado ponto, desconsiderando sua direção.

Para valores de referência a NBR 16 401 – 2 em conjunto com ASHARE define para as duas estações críticas do ano (verão e inverno) valores aos parâmetros de interferência acima citados, de forma a manter o conforto térmico no interior das edificações.

4.1.2.1 Verão

- Roupa típica de 0,5 clo = 0,0775 m².K / W;
- Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada:
 - 22,5°C a 25,5 °C e umidade relativa de 65%;
 - 23,0°C a 26,0 °C e umidade relativa de 35%.
- Velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:
 - 0,20 m/s para distribuição de ar convencional;
 - 0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento.

4.1.2.2 Inverno

- Roupa típica de 0,9 clo = 0,1395 0775 m².K / W;
- Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada:
 - 21,0°C a 23,5 °C e umidade relativa de 60%;
 - 21,5°C a 24,0 °C e umidade relativa de 30%.

- Velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:
 - 0,15 m/s para distribuição de ar convencional;
 - 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento.

4.2 COBERTURAS

A ABNT NBR 15575-5 define telhas como objetos construtivos utilizados para a cobertura de edificações, cujo objetivo principal, associado às paredes é a isolação do ambiente interno do ambiente externo buscando contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional. Telhas translúcidas são telhas de característica transparente, que além de cumprir seu propósito como cobertura, permitem a passagem de uma parcela da luz incidente sobre esta ao ambiente interno. Esta propriedade torna-se conveniente à medida que se busca obter melhorias no setor de iluminação interna predial sem a necessidade do acréscimo de lâmpadas. A parcela de luz emitida através das telhas translúcidas varia de acordo com as propriedades ópticas do material utilizado e de sua geometria construtiva, sendo, portanto variante de modelo para modelo.

4.2.1 Matéria prima

No Brasil os materiais utilizados na confecção de telhas translúcidas podem ser compósitos (fibra de vidro reforçada com resina poliéster) ou, polímeros termoplásticos, (PVC ou Polipropileno) sendo os perfis de fabricação ondulados,

trapezoidais, canaletes, modulados, ou convencionais, que para a elucidação do presente projeto, devem ser desconsiderados.

4.2.1.1 Materiais compósitos

Um compósito pode ser definido como um material híbrido, multifásico, resultante da combinação de dois ou mais materiais, em que um dos componentes é responsável pela resistência a aplicação de esforços, e outro torna-se responsável pela transferência dos esforços aplicados. Os materiais constituintes de um compósito não se dissolvem ou se misturam ao entrar em contato, cada um deles retém suas características originais e as fornecem em parcelas ao constituinte final que ambos formam (FREIRE, 1994). O uso do polipropileno como matriz em materiais compósitos pode ser justificado devido a sua alta inerência a produtos químicos e a umidade, além de possuir densidade específica inferior aos demais materiais poliméricos cuja resistência seja equivalente. Já o uso de fibras como constituinte do material reforço, é compreendido para dar resistência mecânica, rigidez e estabilidade dimensional a mistura final. A fibra de vidro, por exemplo, conta com as vantagens de ser um material amorfo, com alta resistência mecânica, baixo coeficiente de expansão térmica, de baixo custo e de fácil processamento (FREIRE, 1994). As características finais de um material composto reforçado pelo aditivo de fibras, não depende exclusivamente das propriedades da fibra em si, mas também de outros parâmetros como comprimento e alinhamento das fibras: O comprimento das fibras é um fator determinante na transmitância de cargas aplicadas aos materiais compósitos, pois o que determina tal transmitância é a magnitude da ligação interfacial entre a fase matriz e a fase reforço (as próprias fibras), logo existe um comprimento mínimo para que exista boa interação entre ambas as fases resultando em ligações interfaciais fortes que consequentemente resultam em aumento da resistência e do enrijecimento do material compósito. Esse comprimento crítico l_c depende do diâmetro d_f , do limite de resistência da fibra LRT e da relação da força entre a fibra e matriz R :

$$l_c = l_{rt} \cdot d_f 2R$$

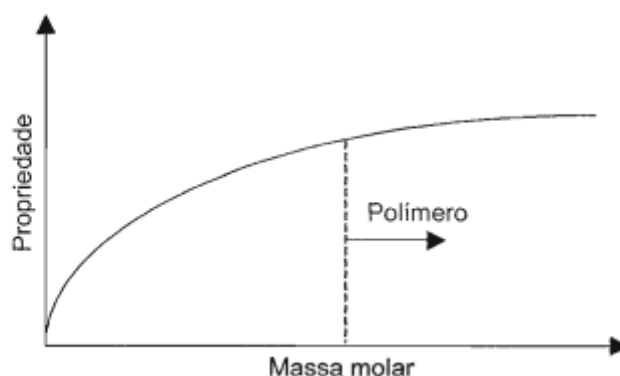
Quando o valor de comprimento crítico for utilizado, a resposta a um esforço aplicado sobre o material compósito terá apenas seu valor máximo concentrado no interior das fibras, favorecendo assim a maior resistência possível ao material. Para compósitos de matriz-fibra de vidro ou de carbono, o comprimento crítico encontra-se na ordem de 1 mm, valor em torno de 20 a 150 vezes o diâmetro da fibra utilizada (CALLISTER, 2006). A orientação das fibras em relação uma a outra e sua distribuição possui grande influência sobre a resistência final do material compósito devido a sua maior ou menor capacidade de dividir a tensão aplicada entre as fibras constituintes. Em relação a esta distribuição pode-se ter a idealização de duas situações distintas, um alinhamento perfeito, e um alinhamento totalmente difuso, sendo a primeira opção descrita a situação ideal (CALLISTER, 2008).

4.2.1.2 Materiais polímeros

A palavra polímero é uma derivação do grego aonde “poli” significa muitos e “mero” define-se como unidade de repetição. Sendo assim polímeros podem ser denominados como uma grande cadeia (macromoléculas) formada por pequenas unidades químicas repetidas (monômeros), que se ligam por meio de ligações covalentes. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente que os interliga, os polímeros podem ser divididos em três diferentes grupos, os Plásticos, as borrachas e as fibras (CANEVAROLO, 2006).

A grande parte das propriedades físicas dos polímeros, são extremamente dependentes do comprimento da molécula em questão, tal fato implica também que existe uma correlação direta entre propriedades e massa molar poliméricas. Como os polímeros podem ser compostos por inúmeras estruturas realojadas de inúmeras formas diferentes, existirá também um grande conjunto de propriedades distintas e amplificadas que poderão ser obtidas (MANRICH, 2005).

Figura 3 - Comportamento das propriedades poliméricas



Fonte: Mano, 2000.

Para fins de classificação, no âmbito da ótica pode-se classificar os polímeros como sendo amorfos ou cristalinos. Polímeros amorfos puros são em sua totalidade transparentes quanto aos polímeros cristalinos, estes podem ser opacos, transparentes ou translúcidos (MANRICH, 2005).

Quanto ao comportamento mecânico, os polímeros são divididos em três grupos principais, sendo eles os Plásticos, os Elastómeros e as Fibras.

4.2.1.2.1 Plásticos

Os plásticos constituem um grande grupo de materiais sintéticos variados, que podem trabalhar em temperatura ambiente. Sendo obtidos por enformação ou moldagem, os plásticos possuem geometria fixa e de acordo com o modo como estão ligados química e estruturalmente (SMITH, 1998). Os plásticos podem se dividir em:

- Termoplásticos é a definição dada a polímeros que possuem ligações químicas fracas e facilmente quebradas, sendo assim adquirem a capacidade de serem fundidas inúmeras vezes sem a perda de suas propriedades físico-químicas (PUC, 2004);
- Termofixos é a definição atribuída a polímeros que possuem ligações cruzadas (relativamente fortes), sendo assim depois de fundidos e curados, não podem sofrer

o processo de fundição novamente sem sofrer danos a sua estrutura química (PUC, 2004).

Além das classificações citadas acima, algumas literaturas citam um terceiro estado de transformação mecânica para os polímeros e a este estado é dada a seguinte definição:

- Baroplásticos é a definição atribuída a plásticos que ao experimentarem um aumento considerável de pressão e temperatura, adquirem um estado borrachoso, criando a capacidade de se moldarem ao recipiente que os contem (CANEVAROLO, 2006).

4.2.1.2.2 *Elastômeros*

Os elastômeros ou borrachas, são a classe dos polímeros capazes de sofrer grandes deformações elásticas sem se romper, e após cessado a aplicação da força responsável por sua deformação, retornarem ao seu formato e tamanho original, ou muito próximo deste (SMITH, 1998). Tais propriedades são possíveis devido a sua cadeia estrutural flexíveis amarradas umas às outras assim como sua baixa densidade de ligações cruzadas (CANEVAROLO, 2006).

4.2.1.2.3 *Fibras*

As fibras são termoplásticas de cadeias compridas e orientadas que cumpre a condição geométrica de $L / D > 100$. Esta orientação de cristais e cadeias eleva a resistência mecânica dos termoplásticos, dando a estes a condição de serem utilizados sobre a forma de fios. Alguns exemplos deste tipo de matéria são os nylons e os poliésteres "PET". (CANEVAROLO, 2006).

4.2.1.2.4 Cloreto de polivinil

PVC ou cloreto de polivinil é um polímero termoplástico com ampla versatilidade quanto a suas propriedades mecânicas. Esta versatilidade se deve ao alto teor de cloro contido em sua estrutura, fato que lhe confere alta polaridade e conseqüente grande afinidade com diferentes elementos, permitindo assim a implementação de inúmeros aditivos em sua formulação. Desta maneira pode-se variar as propriedades físico-químicas do PVC apenas variando o tipo e a quantidade de aditivo utilizado. Dentre os aditivos utilizados os mais que possuem maior grau de importância são os plastificantes, por permitirem ao PVC a capacidade de sofrer diferentes processos de moldagem que auxiliam no ganho de propriedades visuais e mecânicas (WANG, 2004).

O PVC pode ser obtido através do sal marinho ou da salgema, porém necessita também de matéria prima provenientes do petróleo e do gás natural para sua composição. Podem se obter quatro tipos de Cloreto de Polivinil, sendo eles: PVC rígido, isento de plastificantes, PVC flexível ou plastificado, PVC transparente (amorfo) e PVC expandido (D'AQUINO, 2012). Dentre as diferentes propriedades que podem ser obtidas através da manipulação do PVC temos: impermeabilidade, alta resistência ao impacto, baixa densidade específica, baixa condução térmica, grande duração, pode adquirir diferentes tonalidades e até mesmo ser transparente, reciclável e requer pequena quantidade de energia para sua fabricação (ZAIIONCZ, 2004).

Tabela 5 - Característica do polímero PVC

Peso Molecular	80.000 - 100.000
Densidade	1,39
Índice de Refração	1,53 - 1,56
Temperatura Transição Vítrea	273 °C
Cristalinidade	5 - 15 %
Característica	Termoplástico

Fonte: Biasotto, 2000

4.2.1.2.5 Polipropileno

O polipropileno ou simplesmente PP é um dos derivados do polietileno mais atrativo comercialmente, uma vez que pode ser sintetizado a partir de matérias petroquímicas baratas como a partir do resíduo de craqueamento da nafta. O polipropileno possui maior resistência mecânica e menor flexibilidade quando comparado ao polietileno, isso se deve ao fato de que ao passar de polietileno para polipropileno cada um de dois átomos de carbono da cadeia principal é substituído por um grupo metilo, que por sua vez restringe a rotação das cadeias, dando origem assim a um material mais resistente e menos maleável (SMITH, 1998).

O polipropileno é formado por estruturas lamelares que variam de tamanho de acordo com a temperatura de cristalização do processo pelo qual se obteve o material. As lamelas cujo o crescimento ocorre de forma radial, geram esferulitos, que possuem o tamanho baseado na taxa de crescimento dos cristais internos em relação a sua taxa de nucleação (COWIE, 1991).

De acordo com sua configuração morfológica o polipropileno pode se apresentar de três diferentes maneiras: isotático, sindiotático e atático. O polipropileno pode ser produzido de acordo com as propriedades que se deseja obter, sua classificação geral é dividido em polipropileno homopolímero, polipropileno copolímero e polipropileno copolímero randômico. No entanto devido as propriedades que se deseja obter para coberturas e telhados, apenas o polipropileno Copolímero torna-se interessante (D'AQUINO, 2012).

4.2.1.2.6 Polipropileno copolímero randômico (RCP)

Esta variação copolímera pode ser obtida através da adição de um comonômero durante a reação de polimerização. Este tipo de material é comumente indicado em aplicações cuja sejam necessárias as propriedades de transparência e resistência ao impacto.

O arranjo estrutural do polipropileno copolímero randômico sofre interferência devido a presença do comonômero, fato que resulta no aumento da mobilidade atômica, reduzindo assim cristalinidade, que proporcionalmente aumenta a transparência do material em questão (conforme explicado acima) (D'AQUINO, 2012).

Dentre as propriedades mecânicas o polipropileno (em geral) se destaca quanto a alta temperatura de transição vítrea (que permite ao material trabalhar em temperaturas de até 120°C sem se deformar com possibilidade de aumento de acordo com a introdução de aditivos específicos), boas resistências químicas, á humidade e ao calor, bem como baixa densidade, boa dureza e elevada estabilidade dimensional, além de sua alta resistência a flexão.

As principais aplicações ao polipropileno são a utensílios domésticos, componentes de eletrodomésticos, embalagens, utensílios de laboratório. No formato de filme o polipropileno pode ainda ser utilizado na confecção de sacos plásticos e embalagens de produtos frágeis (SMITH 1998).

Tabela 6 - Característica do polímero polipropileno

Polipropileno	
Peso Molecular	80.000 - 500.000
Densidade	0,9
Índice de Refração	1,49
Temperatura de Transição Vítrea	165 - 175 °C
Cristalinidade	60 - 70 %
Característica	Termoplástico

Fonte: Biasotto, 2000

4.2.1.3 Comparativo de materiais

Tabela 7 - Comparativo entre PVC e polipropileno

	Policloreto de vinila (PVC)	Polipropileno
Resistência química		
Ácidos concentrados	Boa	Boa
Ácidos diluídos	Excelente	Excelente
Agentes oxidantes	Boa	Regular
Hidrocarbonetos alifáticos	Excelente	Baixa
Hidrocarbonetos aromáticos	Baixa	Baixa
Hidrocarbonetos halogenados	Baixa	Baixa
Óleos minerais	Boa	Regular
Óleos vegetais	Boa	Regular
Resistência a Processos		
Esterilização química	Sim	Sim
Propriedades		
Temperatura máxima °C	60	135
Temperatura mínima °C	-10	-25
Transparência	Claro	Translúcido
Flexibilidade	Rígido	Semi-rígido
Permeabilidade nitrogênio	0,4	4,4
Permeabilidade CO ₂	10,2	0,92
Permeabilidade oxigênio	1,2	28
Massa específica kg/m ³	1340 – 1380	905
Resistividade ohm m	>10 ¹⁴	1016
Ponto de Fusão °C	80	170
Absorção de água %	0,06	<0,02
Coefficiente expansão 1/°C	90 – 180	146-180
Calor específico kJ /kg °C	0,96-1	2
Condução térmica W /m.k	0,21	0,12
LRT(MPa)	40,7 - 51,7	35,9 - 51,7

Fonte: (MSPC, 2009)

4.2.2 Ótica dos polímeros

A característica de transparência a luz visível é desenvolvida por polímeros amorfos cujo grau de cristalinidade seja baixo. O índice de transparência é medido de acordo com índice de transmitância, que por definição é a razão entre as quantidades de energia que incidem e que se propagam pelo meio material. A transparência de materiais poliméricos pode alcançar até 92% e a presença de pequenas inclusões ou de cristalinos no interior de sua estrutura molecular pode tornar o material semitransparente, dado ao fato que estas partículas atuam no espalhamento da luz.

Polímeros com alto grau de cristalinidade, como o polipropileno, podem se tornar translúcido, semitransparentes ou opacos, de acordo com a quantidade de inclusões ou cristalinos que estes contiverem em seu interior (BIASOTTO, 2000).

4.3 PROPAGAÇÃO DA LUZ

Ao se propagar na ausência de meios materiais, no vácuo, os feixes luminosos sofrem um ligeiro aumento em seu diâmetro, conservando sua energia e velocidade constantes, sem sofrer dispersão ou degradação, mantendo-se neste caso inalterável eternamente.

No entanto quando existe a introdução de moléculas no meio, os efeitos quanto à propagação dos feixes luminosos são contrários ao ocorrido no vácuo. Em meios materiais o feixe luminoso se comporta como um pacote de fótons, aonde cada fóton corresponde á um pacote de energia na forma luminosa. Estes fótons são absorvidos pelas moléculas do meio, e reemitidos por estas de maneira aleatória, difratando a luz assim em diferentes sentidos.

Sempre que um fóton é absorvido por uma molécula, outro fóton com mesmo comprimento de onda e de menor potencial energético (parte da energia é convertida em calor) é emitido instantaneamente. Devido à orientação aleatória das moléculas, os fótons gerados são emitidos em diversas direções, causando assim o fenômeno de dispersão transversa da luz.

Seguindo este conceito, variações térmicas no meio de propagação geram flutuações quanto ao sentido de propagação da luz. À medida que a temperatura do meio varia a densidade resultante do meio varia consigo, fazendo com que a distância

entre as moléculas oscile causando interferência quanto á orientação na emissão dos novos fótons, fornecendo assim padrões anisotrópicos ao fenômeno radiação.

Em meios com densidades relativamente altas, o grande número de moléculas e o pequeno espaçamento entre estas desfavorece a dispersão transversa da luz. Tal efeito é justificado à medida que moléculas muito próximas tentem a causar sobreposições das ondas/fótons emitidas, dando origem a ondas resultantes de capacidade igual ou semelhante a onda originalmente incidente, fazendo com a luz sofra baixos índices de dispersão.

Baseado em tais fatos Hecht (1998) faz uso da das seguintes afirmações: “Quanto mais denso for o meio no interior do qual a luz se propaga, menor é a dispersão transversa”, e “Pouca ou nenhuma luz acaba por ser dispersa lateralmente, ou mesmo retrodispersa em meios homogêneos e densos”.

4.4 PROPRIEDADES ÓTICAS

Propriedades óticas podem ser entendidas como a reação de um material quando exposto a radiação eletromagnética, sendo esta mais precisamente a luz visível (CALLISTER, 2006). Quando a luz passa de um meio para outro, como no caso das telhas translúcidas, a radiação luminosa divide-se em três componentes, parte desta é transmitida através do meio, parte é absorvida pelo próprio meio e uma última parte será refletida na fronteira entre os dois meios. A soma das três parcelas em questão resulta na intensidade radiante incidente á tal superfície, ou seja:

$$I_o = I_T + I_A + I_R \quad (2)$$

Onde:

- I_T é a parcela de energia que foi transmitida pelo meio;
- I_A é a parcela energética absorvida pelo meio durante a propagação;
- I_R é a parcela de energia que foi refletida pelo meio ao entrar em contato com o feixe incidente de radiação.

4.4.1 Índice de refração

Ao incidir e se propagar no interior de meios diferentes a energia em forma de radiação sofre uma desaceleração em sua velocidade proporcional a densidade do meio a que este incidir. Tal desaceleração resulta em um desvio na interface do meio, e a este desvio se define a refração.

O índice de refração é adimensional e pode ser medido efetuando-se a razão entre as velocidades de propagação no vácuo c e no meio em questão v :

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

Tabela 8 - Índices de refração aproximados

Meio de Propagação	n (c/v)
Ar	1,00029
Água	1,333
Silício amorfo (SiO ₂)	1,4584
Vidro "Crown"	1,52
Vidro "Flint" baixa densidade	1,58
Vidro "Flint" alta densidade	1,66
Poliestireno	1,59

Fonte: Hecht (1998)

4.4.2 Reflexão

Fenômeno pelo qual a luz incidente sofre uma reversão em seu sentido de propagação ao incidir sobre a fronteira entre dois meios com índices de refração diferentes (INCROPERA, 1998). A luz incide sobre a superfície do novo meio e retorna a se propagar no meio antigo com alteração no ângulo de propagação. A refletividade pode ser dada como a fração da energia refletida na fronteira do meio pela energia inicialmente incidente:

$$R = \frac{I_R}{I_o} \quad (4)$$

Outra maneira de medirmos a refletividade é tomarmos como base a associação dos índices de refração de meios em série replicando-o de acordo com os meios envolvidos.

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (5)$$

Onde:

- n_1 é o índice de refração do meio incidente;
- n_2 é o índice de refração do meio posterior.

Analisando a formula acima percebe-se que quanto maior for a diferença entre os índices de refração dos meios incidente e posterior, maior será a refletividade só sistema.

Tabela 9 - Índices de refração dos materiais

Material	Índices de refração médios
Cerâmicas	
Vidro de Sílica	1,458
Vidro de boros silicato	1,47
Vidro de cal de soda	1,51
Quartzo	1,55
Polímeros	
Politetrafluoretileno	1,35
Poli (metil metacrilato)	1,49
Polipropileno	1,51
Poliestireno	1,6

Fonte: Callister, 2008

4.4.3 Absorção

Fenômeno pelo qual, parte da energia do feixe de luz incidente é absorvida pelo meio em que este se propaga. Esta energia é convertida sobre a forma de “calor” e pode acontecer tanto em corpos transparentes quanto em corpos opacos (CALLISTER, 2008).

Segundo a ABNT NBR 15575-5 por ser a parte mais exposta a radiação solar direta, os mecanismos de cobertura de dependências (no caso as telhas translúcidas), devem ser dimensionados de forma a garantir o conforto térmico dos usuários de tal dependência. Agravando este fato temos o fenômeno da absorção, onde devido às propriedades dos materiais translúcidos em transformar parte da energia recebida em calor, existirá uma elevação na temperatura das telhas, que devido à convecção natural térmica acabará por elevar a temperatura interna da estrutura em que se encontra instalada.

4.4.4 Transmissão

Fenômeno pelo qual a luz é transmitida de um meio para outro diferente, sofrendo assim alterações na sua velocidade e direção (CALLISTER, 2008). No caso de meios sólidos, é necessário que o corpo seja de material transparente para que a transmissão de luz ocorra, caso contrário coexistirão apenas os efeitos de reflexão e absorção.

O índice de transmissão pode ser definido como:

$$I_T = I_0 \cdot (1 - R)^2 \cdot e^{-\beta \cdot l} \quad (6)$$

Onde:

- I_0 é a intensidade radiante incidente;
- R é a refletividade do sistema;

- β é o coeficiente de absorção (mm^{-1});
- l é a espessura do meio.

O coeficiente de absorção β é uma propriedade característica de cada material e varia de acordo com a função do comprimento de onda da radiação incidente (CALLISTER, 2007).

4.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS

Propriedades térmicas são propriedades intrínsecas de cada material, e podem ser descritas como a resposta destes quando expostos a um gradiente térmico. Gradiente térmico por sua vez, pode ser considerado como a variação de temperatura entre dois objetos, dois meios ou entre objeto e meio que estejam a temperaturas diferentes. Sempre que existirem gradientes de temperatura, coexistirá o fenômeno de transferência de calor, que por definição corresponda à “energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço” (INCROPERA, 2008).

Fisicamente existem três mecanismos diferentes para a existência de transferência de calor, são eles condução, convecção e irradiação.

4.5.1 Condução térmica

A condução térmica é a transferência de calor partícula a partícula, onde as partículas de maior poder energético cedem energia para as partículas de menor energia. Para que tal efeito ocorra é necessária a existência de um meio de propagação, sendo que ambos os materiais a que se pretende trocar calor devem estar em contato e permanecer em regime estacionário durante toda a troca térmica (ÇENGEL, 2009). A taxa de calor transferida durante a condução térmica é prescrita pela lei de Fourier, e para um sistema unidimensional com fronteira plana definida, poder ser escrita como:

$$q_{(x,y)} = -K \frac{d_T}{d_{(x,y)}}$$

(7)

Onde:

- $q_{(x,y)}$ é a taxa de calor transferido na direção x ou y por unidade de área perpendicular a direção da propagação de calor (W/m²) ;
- K é a condutividade térmica (W/(m.K)), propriedade intrínseco do material;
- $\frac{dT}{d(x,y)}$ é o gradiente térmico ao longo da direção x ou y da propagação do calor (K/m).

4.5.2 Convecção térmica

Convecção térmica é o meio de transferência de calor atribuído ao transporte de energia através do movimento, somando aos efeitos estacionários da condução de calor (KREITH, 1977). Este movimento é uma soma do movimento molecular aleatório ao movimento global dos fluídos a que se pretende trocar calor. Tal fenômeno assim como a condução, necessita da presença de um meio material para a propagação de energia, sendo que a convecção pode ocorrer através da interação entre um fluído e um sólido, entre dois fluídos ou até mesmo no interior de um mesmo fluído, desde que haja neste a existência de um gradiente de temperatura.

Cabe ressaltar que a convecção por ser atribuída ao movimento pode ser dividida em duas partes, convecção forçada, onde existe um meio externo ampliando o movimento das correntes convectivas e convecção livre, onde o movimento das correntes convectivas se deve única e exclusivamente a diferença de densidade do fluído que experimenta o gradiente de temperatura.

A equação que quantifica a taxa de transferência de calor através da convecção térmica e conhecida como lei do resfriamento de Newton e é dada por:

$$q = h (T_s - T_\infty) \quad (8)$$

Onde:

- q é a taxa de calor transferido por convecção (W/m²);
- h é uma constante inerente ao material conhecida como coeficiente convectivo;

- T_S e T_∞ são a temperatura da superfície (ou meio) estudada e do meio em que este se encontra, respectivamente.

Tabela10 - Valores típicos do coeficiente convectivo

Processos	h (W/(m ² .K))
Convecção Natural	
Gases	02 - 25
Líquidos	50 – 1000
Convecção Forçada	
Gases	25 – 250
Líquidos	100 - 20 000
Convecção com mudanças de fase	
Ebulição e condensação	2 500 - 100 000

Fonte: Incropera e Dewitt, 2008.

4.5.3 Radiação térmica

Radiação térmica é o mecanismo de troca de calor onde a energia em trânsito é de caráter eletromagnético. Por conseguinte radiação eletromagnética é definida como sendo a energia irradiada por corpos cujas temperaturas sejam diferentes de zero Kelvin ou zero absoluto (INCROPERA, 2008). Para que este mecanismo de transferência de calor ocorra, não é necessária a existência de um meio físico de propagação, assim como também não existe a necessidade do contato entre os corpos a que se pretende efetuar a troca térmica.

A taxa de transferência de calor por radiação é regida pela lei de Stefan Boltzmann a qual fora elucidada da seguinte maneira:

$$E_n = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_S)^4$$

(9)

Onde:

- E_n é a energia liberada por unidade de área (W/m^2);
- ϵ é a emissividade, propriedade radiante das superfícies;
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$);
- T_s é a temperatura que o corpo irradiante se encontra.

Sob a perspectiva quântica, radiação eletromagnética pode ser entendida como sendo o resultado da emissão de energia na forma de pequenos pulsos, enquanto sob o ponto de vista ondulatório, a energia eletromagnética é fruto da variação entre os campos elétrico e magnético.

A principal fonte de energia radiante de nosso sistema solar é o próprio sol, e praticamente todas as trocas de energia efetuadas entre o planeta terra e o restante do universo ocorrem através do mecanismo de irradiação, visto que a energia eletromagnética é a única capaz de atravessar o vácuo existente na estratosfera terrestre (UFPR, 2017).

O sol emite radiação em comprimentos de ondas superiores a $0,15 \mu m$, sendo que de sua totalidade, aproximadamente 99% das ondas eletromagnéticas se encontram na faixa entre $0,15$ e $4,0 \mu m$, sendo este intervalo denominado de região da radiação solar (DANTAS, 2017). Desta parcela, estima-se que 9% das ondas eletromagnéticas geradas pelo sol correspondam à radiação ultravioleta, 40% à região do espectro visível e 51% à zonas de radiação do infravermelho. Estas parcelas são estimativas do que se pode receber do sol fora da estratosfera terrestre, visto que as interações entre a radiação solar e o solo propriamente dito sofrem inúmeras interferências das taxas de radiação que são absorvidas ou refletidas por gases da atmosfera terrestre, tais como o oxigênio, o ozônio, o dióxido de carbono e o vapor d'água, restando apenas que 51% de toda a energia radiante que o sol emite seja capaz de atingir o solo terrestre (UTFPR, 2017).

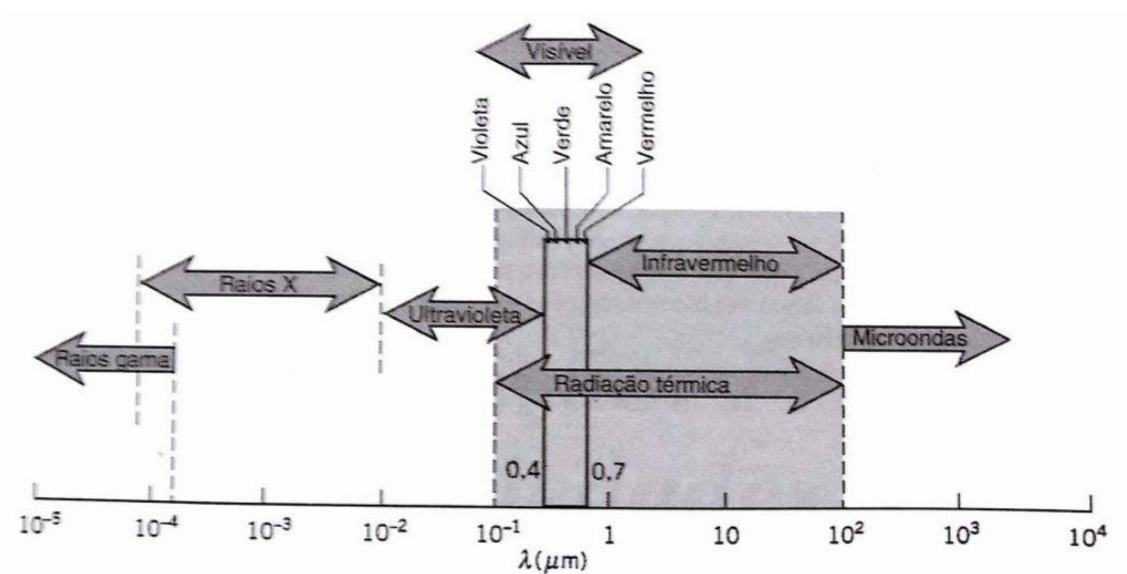
Como radiação por definição é dada como a propagação de ondas eletromagnéticas, tem-se que as mesmas propriedades típicas de uma onda também são aplicadas a este fenômeno (INCROPERA 1998), portanto define-se como comprimento de onda a razão entre a velocidade de propagação da onda em questão em um referido meio “ c ” e sua frequência específica “ ν ”, obtendo-se assim:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

(10)

Para a transmissão de radiação no vácuo a velocidade de propagação possui o valor de $2,998 \times 10^8$ m/s, e a unidade geral para o comprimento de onda é comumente adotada como sendo o micrometro “ μm ”. Através da distinção dos comprimentos de onda é possível a elaboração de um espectro magnético da radiação, e identificar seus respectivos campos:

Figura 4 - Espectro da radiação eletromagnética



Fonte: Incropera (1998).

5 METODOLOGIA

O processo de metodologia fora baseado em etapas, sendo cada uma delas primordial para a realização do presente trabalho. As etapas serão:

Proposta;

- Dados de Entrada;
- Definição do arranjo físico;
- Seleção da geometria das placas;
- Seleção do material utilizado nas placas;
- Procedimento de cálculos.

5.1 DADOS DE ENTRADA

Para o pleno desenvolvimento do projeto em questão, foram necessários alguns dados de entrada capazes de quantificar a usabilidade do aparelho, e que tornem possível sua elaboração, tais quais são eles: temperatura do ambiente externo e índices de insolação/radiação solar do local a que se pretende aplicar o mecanismo, temperatura de referência para conforto térmico, inclinação de coberturas de edificações, e propriedades quanto aos materiais utilizados.

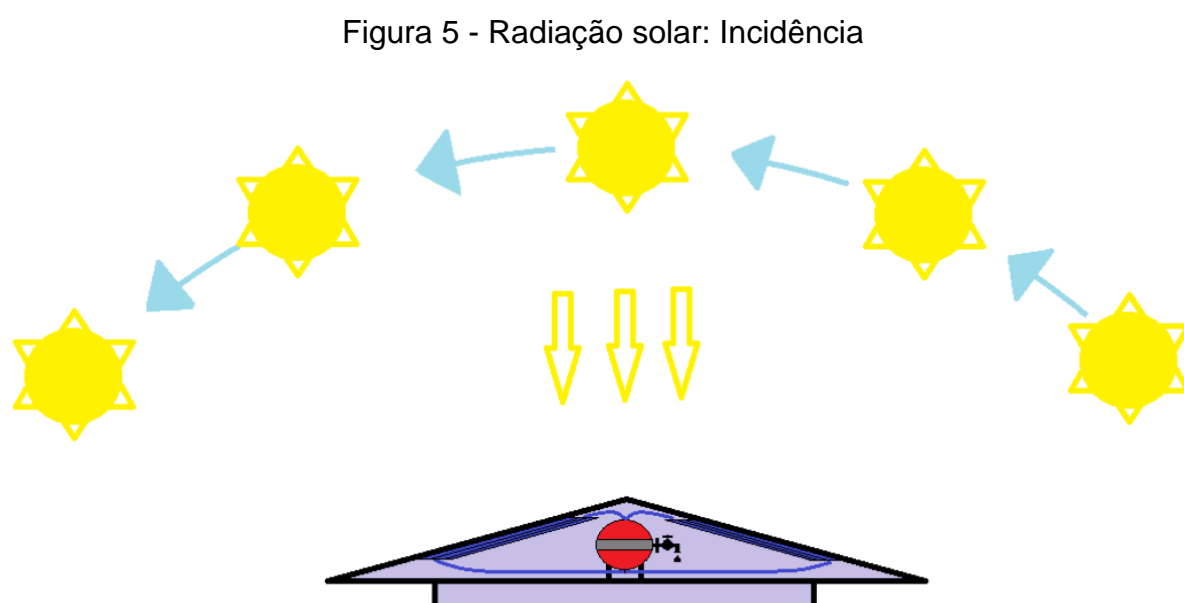
5.1.1 Temperatura do ambiente externo

A temperatura do ambiente externo considerada para o desenvolvimento do projeto fora obtida realizando-se a média entre as temperaturas medidas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2016), nos meses de verão referentes aos anos de 2015 e 2016. Para o resgate de tais dados o local selecionado fora a cidade de Pato Branco localizada no estado do Paraná - Brasil. A quantificação de tal dado é necessária durante a elaboração dos cálculos de transferência de calor, entre o meio externo e o meio interno da habitação e também na análise da faixa de temperatura necessária ao material utilizado na construção de tal componente.

5.1.2 Insolação e radiação solar

Dados quanto a insolação e a radiação solar foram obtidas fazendo uso da localização de referência (Pato Branco – PR) e dos gráficos e tabelas disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2002). Tal procedimento consistiu em buscar os gráficos disponíveis no Atlas Solarimétrico do Brasil, banco de dados terrestres, e encontrar dentro destes as faixas de intensidade da radiação e insolação solar diária sobre a região de referência. A utilização deste dado serviu para quantificar o balanço geral de energia recebida e transmitida pelo equipamento em desenvolvimento, além da análise térmica necessária para medir sua eficácia.

Para efeitos de cálculos foi considerado que a radiação solar incide verticalmente ao plano terrestre de acordo com o diagrama abaixo:



Fonte: Autoria Própria.

5.1.3 Conforto térmico

Dados referentes às medidas de conforto térmico foram retirados da norma brasileira ABNT NBR 16 401 que explana sobre a instalação de ar-condicionado, da Organização Internacional de Normalização ISSO 7730 e também de referências

como a Associação Sul Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Aquecedores e ventilação (ASBRAV, 2017).

Para as análises de conforto térmico foram necessários a quantificação de valores como temperatura interna e umidade relativa do ar no interior de edificações. É importante ressaltar que o projeto visa apenas o fator construtivo, senso assim não serão feitas considerações quanto as atividades executadas no interior das edificações e nem do vestuário que se é aplicado aos funcionários.

5.1.4 Inclinação de coberturas

Valores referenciais quanto as inclinações de coberturas habitacionais são relativamente difíceis de serem analisados, pois as formas e orientações das coberturas de edificações já existentes não são garantidamente padronizados, portanto, os valores de referência para os cálculos de desenvolvimento do projeto, foram obtidos via análise de estruturas industriais que se encontrem dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 15 575-5 subscrita no ano de 2013.

Tal dado fora necessário para mensuração da camada limite hidrodinâmica e da camada limite térmica, via cálculos de convalidação quanto a possibilidade da utilização da convecção natural como fonte de movimento para o escoamento do sistema.

5.1.5 Especificações dos materiais

Todas as propriedades relativas aos materiais utilizados, em específico o material da placa translúcida, foi obtida via o livro Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais Callister e via sites referentes aos fabricantes dos materiais em questão, assim como de outras referências já citadas em tal trabalho. Alguns dados.

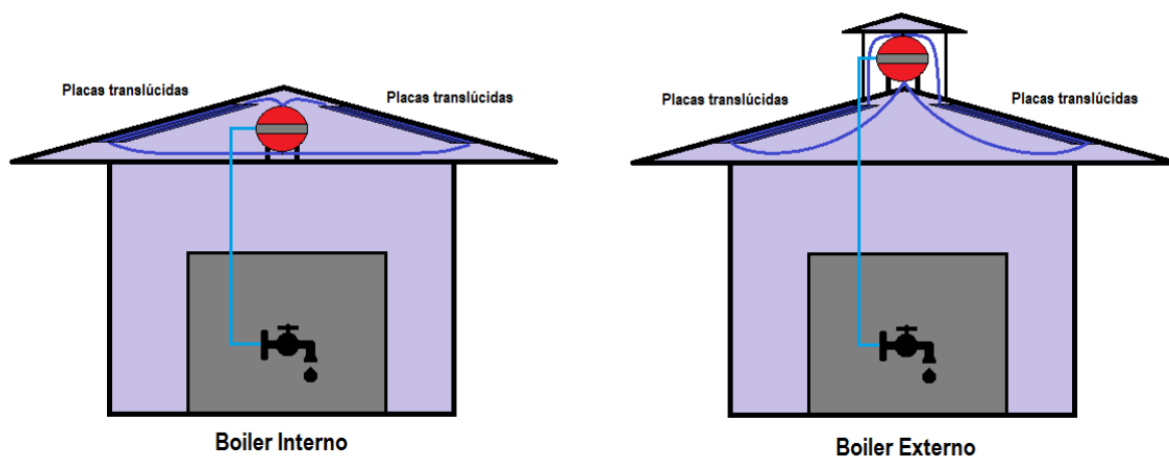
Tais propriedades se tornaram essenciais para o estudo das trocas de calor existentes no mecanismo, e no caso das propriedades óticas estas se fazem necessárias para a análise de viabilidade ou não do uso de tal equipamento, assim como o comprimento dos objetivos pré-determinados.

5.2 ARRANJO FÍSICO

O arranjo foi pensado de modo a maximizar a área de cobertura translúcida, sendo assim optou-se pelo arranjo construtivo estilo sanduiche, aonde coexistirão duas telhas translucidas sobrepostas e espaçadas, de modo que em seu interior seja possível a inserção de uma fina camada d'água.

A distância de espaçamento entre as telhas foi obtida via cálculos iterativos, (com cerca de 5 interações), onde foi escolhida a distância levando em consideração as taxas de transferência de calor encontradas e a transmissão de energia através do equipamento.

Figura 6 - Distribuição das placas translúcidas



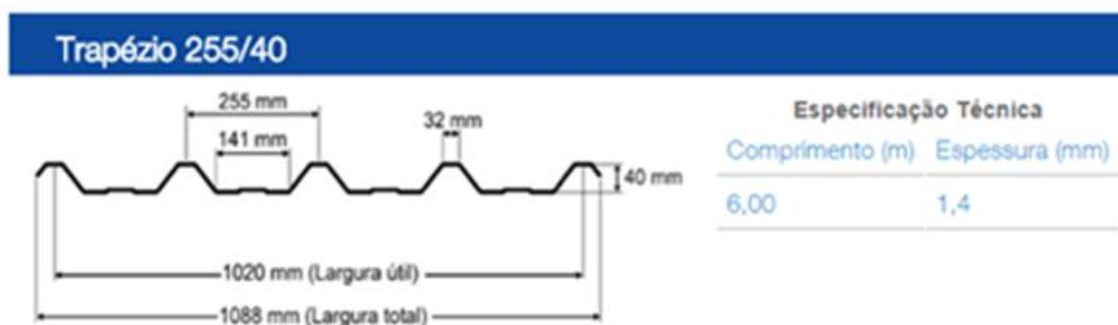
Fonte: Autoria Própria.

5.3 SELEÇÃO DA GEOMETRIA DAS PLACAS

Dentre os modelos de Placas translúcidas disponíveis no mercado, a geometria adotada para a confecção do equipamento em questão fora a trapezoidal. Esta geometria foi selecionada pensando nos meios de simplificação dos cálculos de transferência de calor, e a fim de facilitar o fator construtivo. Tal geometria pode ser aproximada por uma placa plana para efeito de cálculos termodinâmicos e facilita a construção do equipamento por não necessitar de ferramentas especiais e nem de

habilidade do operador para reproduzir o perfil utilizado, fato necessário para a construção dos suportes do equipamento.

Figura 7 - Geometria das placas translúcidas



Fonte: Atco (2017).

5.4 SELEÇÃO DO MATERIAL DAS PLACAS

O material selecionado para a construção do mecanismo abordado neste trabalho, foram às placas constituídas do polímero polipropileno. Tal escolha levou em consideração fatores estratégicos como: as temperaturas máximas e mínimas de operação, transparência, flexibilidade, massa específica, absorção de água, coeficiente de expansão, condutividade térmica e limite de resistência a tração. Para a aplicação em projeto, é extremamente importante que as chapas utilizadas sejam constituídas de materiais cujas propriedades sejam:

Tabela 11 - Propriedades analisadas

Propriedade	Característica
Temperatura máxima	Alta
Temperatura mínima	Baixa
Transparência	Alta
Flexibilidade	Alta
Massa específica	Baixa
Absorção de água	Baixa
Coefficiente expansão	Baixa
Condução Térmica	Alta
Limite de Resistência à Tração	Alta

Fonte: Autoria Própria

A amplitude térmica (temperatura máxima – temperatura mínima) deve ser alta para que o equipamento possa ser usado em diferentes regiões e submetido a diferentes climas. A transparência é essencial para o cumprimento do objetivo primário (redução do consumo energético através da utilização de coberturas que priorizem a iluminação solar), a flexibilidade e o limite de resistência à tração são necessários para que as placas suportem posteriores choques, como granizo e fortes chuvas.

A massa específica deve ser a menor possível de modo que a estrutura não necessite de reforços já a absorção de água deve ser baixa, pois o equipamento trabalhará em contato direto com a água. O coeficiente de expansão deve ser baixo para que o equipamento mantenha sua integridade e o índice de condução térmica deve ser alto de modo que toda a energia absorvida pelas placas através da irradiação solar, seja repassado a água que escoará em seu interno.

5.5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Os cálculos executados no presente trabalho têm características especificamente térmicas e óticas, sendo estes necessários para comprovação da eficiência e da funcionalidade do projeto.

No cálculo do balanço térmico (trocas de calor entre o meio externo e o meio interno das edificações), quatro análises são necessárias:

- Meio externo – Placa externa;
- Placa externa – Camada d'água;
- Camada d'água – Placa interna;
- Placa interna – Meio Interno.

Para cada análise feita serão considerados os fenômenos condução, convecção, irradiação, absorção, transmissão e reflexão.

5.5.1 Análise térmica

5.5.1.1 Meio externo – Placa externa e Placa interna – Meio interno

Compreende as trocas de calor efetuadas entre o meio externo e a componente placa superior (telha) e as trocas entre a componente placa inferior e o meio interno da edificação em que o mecanismo será instalado.

5.5.1.1.1 Condução térmica

Para calcular a condução térmica de calor entre o meio externo e as telhas externas, consideraremos a geometria da placa plana e neste caso, como não existe fluxo de massa e como a temperatura adotada será a máxima possível, consideraremos o regime de estudo como regime permanente. A aproximação das telhas por placas planas torna-se possível devido a geometria adotada das “telhas” (trapezoidais), e desta maneira não se espera obter grandes erros quanto aos cálculos elaborados. Tomando como base a equação geral da difusão de calor temos:

$$\left(k \frac{\partial T}{\partial T}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \dot{q} = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

(11)

Considerando a “telha” como uma placa plana, ausente da geração de energia interna, tem que a equação para condução de calor é dada por:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (12)$$

Neste caso, também, como a telha selecionada é fornecida pelo fabricante (ATCO, 2017) com material puro, consideramos a condutividade térmica da telha constante, obtendo assim:

$$T_{(x)} = C_1 \cdot X + C_2 \quad (13)$$

Utilizando as condições de contorno: $T(0) = T_{\text{externa}}$ e $T(L) = T_{\text{interna}}$ temos:

$$T(x) = (T_{\text{interna}} - T_{\text{externa}}) \frac{x}{L} + T_{\text{externa}} \quad (14)$$

Obtendo então a taxa da transferência de calor por condução:

$$q(x) = -\frac{k \cdot A}{L} \cdot (T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}}) \quad (15)$$

Ao final de tal análise, percebe-se que as taxas de transferência por condução entre os meios externos ou internos, variam somente de acordo com a condutibilidade resultante do sistema ar – placa e com a diferença de temperaturas, que por definição tenderá a ser mínima após longos regimes de trabalho. Nesta etapa temos que as trocas de calor via condução entre um meio sólido e um meio gasoso ocorrem somente na região ante camada limite, ou seja, em uma fina região onde devido a forças de atrito as partículas de ar em contato com a placa estarão em repouso permitindo assim tal troca.

Como sabe-se que a região ante camada limite é mínima se comparada com a região de desenvolvimento completo do escoamento, temos também que as trocas de calor condutivas com relação as convectivas também serão mínimas, e portanto, podem ser desconsideradas.

5.5.1.1.2 Convecção térmica

Nesta secção o cálculo quanto à convecção térmica pode ser considerado desprezível, pois de acordo com a tabela 10, temos que o coeficiente convectivo para o processo de corrente livre para gases recebe o valor de apenas 25 W/m².K, e visto que as taxas de troca de calor via convecção são elucidadas pela Lei de Resfriamento de Newton:

$$q = h (T_{\infty} - T_{Sup}) \quad (16)$$

E esta varia diretamente de acordo com o coeficiente convectivo, somado ao fato da diferença de temperaturas entre meio e placa ser mínimo, chega-se a conclusão que as taxas de transferência de calor via convecção são baixas e, portanto podem ser desconsideradas sem a atribuição de grandes erros ao balanço de energia final.

5.5.1.1.3 Radiação térmica

Antes de definir tal fenômeno, uma analogia importante deve ser tomada. Quando é citado em tal trabalho o mecanismo de radiação térmica, tratamos do fenômeno pelo qual existe trocas de calor na forma de radiação. No entanto como a radiação pode ser definida como a energia emitida por um corpo na forma de ondas eletromagnéticas, resultante de mudanças ocorridas em sua configuração eletrônica (CENGEL, 2009), associa-se radiação a taxa de energia emitida por um determinado corpo, resultante de sua temperatura não nula (INCROPERA, 2008) não sendo esta energia exclusivamente térmica, sendo assim cada vez que for citada em tal trabalho

Radiação térmica, devido as propriedades dos materiais envolvidos (translúcida), deve-se considerar que estará havendo trocas de energia térmica e de energia luminosa momentaneamente.

Na análise meio externo e placa translúcida superior a radiação torna-se extremamente importante, pois é tida como principal fonte de calor do meio externo a radiação solar, e sendo assim uma análise profunda a respeito deste fenômeno será efetuada.

Segundo a física, radiação é considerada um fenômeno volumétrico, porem como no interior de meios sólidos a transmissão de energia ocorre molécula a molécula, temos que apenas a superfície é responsável por emitir ou receber radiação, sendo assim, como as placas expostas ao meio externo são sólidas, consideraremos a radiação apenas como um fenômeno superficial para efeitos de cálculo.

Segundo Cengel a máxima radiação que pode ser emitida a partir de uma superfície A_s (m^2), a uma temperatura termodinâmica T_s (K), é dada pela lei de Stefan Boltzmann e é elucidada como:

$$\dot{Q}_{emismax} = \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (17)$$

Onde:

- σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,670 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$).

A superfície idealizada capaz de emitir a radiação máxima descrita acima é chamada corpo negro, sendo a energia emitida por superfícies reais quaisquer definidas como:

$$\dot{Q}_{emis} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (18)$$

A faixa de valores definidos para a emissividade variam entre 0 e 1, sendo este intervalo uma média de quanto uma superfície aproxima-se do comportamento de um

corpo negro (de valor =1). Outra propriedade de interesse quanto à radiação, é a absorvância, que é a medida da fração da energia de radiação absorvida por uma superfície, ou seja:

$$\dot{Q}_{abs} = \alpha \cdot \dot{Q}_{inc} \quad (19)$$

Este conceito é de extrema importância e abre caminho para uma análise mais profunda quanto aos efeitos da radiação no equipamento desenvolvido neste trabalho, pois como a superfície em que a radiação incide é de característica translúcida, temos que:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{refletida} + \dot{Q}_{absorvida} + \dot{Q}_{transmitida} \quad (20)$$

Conforme já citado no referencial bibliográfico deste mesmo trabalho, toda onda eletromagnética dotada de energia ao passar de um meio para outro, sofre interferência do meio, reagindo de três modos: sendo refletida, absorvida e ou transmitida através do meio. Tais fenômenos ocorrem em conjunto, e o que define a proporção de cada um em relação a outro são as propriedades do meio em que a radiação incide. Na formula acima este fato está bem elucidado, demonstrando que a energia total incidida sobre uma superfície é igual a soma das parcelas refletidas, absorvidas e transmitidas da energia nesta mesma superfície (INCROPERA, 1998).

Retomando o arranjo construtivo do equipamento desenvolvido no presente trabalho, percebe-se que a aplicação de um filme protetor de raios ultravioletas na placa inferior do equipamento é de grande utilidade. Tal afirmação faz referência ao objetivo principal de evitar trocas de calor via equipamento, buscado garantir assim as condições de conforto térmico no interior das edificações em que este esteja instalado. Realizando a aplicação de um filme com proteção UV de alta transparência (90% à 98%) na placa inferior, estaremos aumentando a porcentagem de energia refletida por esta, ao mesmo tempo em que diminuiremos a taxa de energia transmitida através desta. Sendo assim, estaríamos reduzindo a transmissão da energia provinda da radiação solar ao ambiente interno, ao passo que aumentaríamos energia disponível

para ser absorvida pela água no interior do mecanismo, fato último que remete ao objetivo quarto de promover uma fonte de água aquecida para posterior utilização.

5.5.1.2 Placa externa - Camada d'água, Camada d'água – Placa interna

5.5.1.2.1 Condução térmica

Neste caso, a análise térmica torna-se relativamente mais complexa, pois como a lâmina d'água está em constante movimento devido à convecção livre, temos neste regime de controle a situação de regime transiente. Como a lâmina d'água é de pequena espessura, adotaremos que não existem gradientes de temperaturas no interior do meio e, sendo assim, o método da Capacitância Global pode ser utilizado.

A princípio tal método pode ser validado levando em consideração que o movimento interno da água se dará por convecção livre, sendo assim só existirá descolamento da água a partir do momento que a água atingir uma temperatura específica, e cessará no exato momento em que esta temperatura sofrer uma mínima queda. Ou seja, existirá somente gradiente de temperatura ao longo do comprimento da placa, e transversalmente a temperatura do fluido se manterá constante.

Ao desprezar os gradientes de temperatura no interior do mecanismo, não é mais possível uma análise térmica através da equação geral de calor. Para tanto torna-se necessário a formulação de um balanço de energia sólido:

$$-\dot{E}_{saida} = \dot{E}_{acumulada} \quad (21)$$

Levando a seguinte condição:

$$-h \cdot A_s \cdot (T - T_{\infty}) = \rho \cdot V_c \cdot \frac{dT}{dt} \quad (22)$$

Introduzindo a diferença de temperaturas:

$$\theta \equiv T - T_{\infty} \quad (23)$$

Admitindo a temperatura do meio como constante e substituindo o operador dT por dθ obtemos:

$$\frac{\rho \cdot V_c}{h \cdot A_s} \cdot \frac{d\theta}{dt} = -\theta \quad (24)$$

Realizando a separação de variáveis, integrando os dois lados da equação e admitindo que:

$$\theta = T_i - T_{\infty} \quad (25)$$

Obtemos duas equações (iguais em verdade) que serão utilizadas para determinar a funcionalidade do mecanismo aqui proposto.

$$t = \frac{\rho V_c}{h A_s} \cdot \ln \frac{\theta_t}{\theta} \quad (26)$$

A equação N serve para quantificar o tempo necessário para o fluído no interior do mecanismo atingir a temperatura da placa interna ou outra qualquer temperatura especificada.

Da mesma forma se for mais útil a especificação de um tempo de transição, e a variável a ser encontrada for a temperatura atingida pelo fluído a equação dada se torna:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \exp\left(\frac{h A_s}{\rho V_c} \cdot t\right) \quad (27)$$

O interessante desta analogia é que chegamos a uma fórmula final para a condução, em que não há a existência do coeficiente condutivo, e sim a presença do coeficiente convectivo. Tal fato implica em que como o coeficiente convectivo é por hora desconhecido, antes da execução de uma análise térmica no mecanismo, será preciso a quantificação do tal coeficiente sendo, portanto, necessário um estudo termodinâmico.

O valor representativo do lado direito da equação acima elucidada é referente a taxa de troca de calor devido ao meio condutivo, tal valor será necessário para comparar se todo o calor trocado pela lamina d'água via convecção poderá ser suprida pela fronteira condutiva água placa translúcida.

5.5.1.2.2 Convecção térmica

A transferência de calor através de meios sólidos é realizada através da condução térmica, pois as moléculas de um sólido permanecem em posições fixas. Quando o meio analisado é de característica líquida ou gasosa condução e convecção coexistem e a proporção de uma em relação a outra depende exclusivamente do movimento da massa do fluido. A transferência de calor por convecção é expressa pela lei de resfriamento de Newton que conforme citado no referencial teórico, é dada por:

$$Q = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (28)$$

E considerado que toda a troca de calor se dá exclusivamente através da superfície temos:

$$Q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (29)$$

Onde:

- h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m.K);

- A_s é a área de transferência de calor (m²);
- T_s é a temperatura da superfície (°C);
- T é temperatura do fluido fora da camada limite (°C).

O coeficiente de transferência de calor por convecção “ h ”, pode ser definido como a taxa de transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido por unidade de área e por unidade de diferença por temperatura (CENGEL, 2009).

Como a análise da convecção é realizada devido ao escoamento interno de um fluxo de fluido entre as placas sólidas estacionárias, que possuem atrito diferente de zero e temperaturas superiores e inferiores ao fluido respectivamente, surge em tal escoamento a presença dos efeitos de camada limite.

A presença de movimento do fluido com relação a superfície com atrito não nulo da origem ao desenvolvimento de uma camada limite hidrodinâmica, enquanto a existência de gradientes térmicos entre superfícies e meios em contato acaba por gerar uma camada limite térmica, sendo assim para maior compreensão de tais fenômenos.

5.5.1.2.3 Escoamento interno versus externo

No presente equipamento, o regime de trabalho deve ser considerado como escoamento interno, dado que por definição escoamento interno é considerado como todo fluxo de matéria obrigado a escoar confinado em um canal ou ao longo de uma superfície e que neste caso temos uma lâmina de água (o fluido em questão) confinado entre duas placas translúcidas sólidas nenhuma outra consideração se faz necessária.

Escoamentos internos são dominados pela influência da viscosidade ao longo do seu campo de escoamento e dependendo da intensidade de tal influência somadas as propriedades do fluido em uso, pode-se conferir ao regime de escoamento características laminares, turbulentas e ou regiões de transição.

5.5.1.2.4 Escoamento laminar versus turbulento

Os escoamentos quanto ao seu comportamento podem ser divididos entre ordenados caóticos ou ainda em alguns casos como regiões de transições. O movimento de fluídos altamente ordenados caracterizados por camadas lisas de fluído são chamados de escoamento laminares enquanto o movimento altamente desordenado de fluídos caracterizado por flutuações na velocidade é chamado turbulento (CENGEL, 2009). A região onde ocorre a troca do regime de escoamento de laminar para turbulento é chamada de região de transição, e em escoamentos agressivos com alto grau de turbulência pode-se identificar também regiões determinadas como vórtices.

No referido equipamento, o objetivo é evitar que o calor absorvido pelas telhas translúcidas devido a exposição solar adentre o meio interno de habitações, logo é esperado que o fluido interno seja capaz de captar toda essa energia térmica antes que esta seja transferida ao ambiente interno. Baseado neste fato, o regime turbulento seria o mais indicado para se promover, pois este proporciona grandes flutuações ao longo do escoamento que funcionam como um mecanismo adicional de transferência de quantidade de movimento e energia, maximizando assim a troca de calor por mecanismo de convecção (INCROPERA, 1998). Por outro lado, como a quantificação da energia trocada por convecção térmica depende diretamente do coeficiente convectivo, e este por sua vez depende do tipo do escoamento do fluído, a adoção do regime turbulento torna-se inviável, pois a descrição de tal fenômeno é de grande complexidade e a validação de seus cálculos envolve técnicas e ferramentas precisas que se alongaria retirando o foco real do projeto, tendo este motivo em vista opta-se pela promoção preferencial de um regime laminar.

Para definirmos o regime como laminar ou turbulento utilizaremos um fator adimensional chamado Número de Reynolds. O número de Reynolds representa uma razão entre as forças inerciais e viscosas no interior de um escoamento e pode ser dado como:

$$R_e = \frac{\rho V L c}{\mu}$$

(30)

Onde:

- V é a Velocidade do escoamento livre;
- L_c é o comprimento característico da geometria;
- μ é a viscosidade dinâmica do fluido.
- ρ é a densidade do fluido

Valores de número de Reynolds obtidos em escoamentos inferiores à 500 000 determinam tal escoamento como laminar, e valores acima caracterizam o escoamento como turbulento. Existe também uma região de transição, porém está não será considerada de interesse para os cálculos de carga térmica (CENGEL, 2009).

Nesta etapa, cabe ressaltar que o escoamento interno é uma característica direta da geometria do mecanismo por onde este flui, e sendo assim a opção pela escolha de um regime laminar certamente afetará a distância entre as placas translúcidas (espessura da lâmina d'água), já que a geometria e suas respectivas dimensões são pré-definidas pela fabricante do modelo escolhido.

5.5.1.2.5 Escoamento natural versus forçado

O que define se um escoamento é dito natural ou forçado é o meio pelo qual o movimento é impelido ao fluido. Entende-se por escoamento forçado, todo escoamento que é forçado a escoar por uma superfície segundo uma força externa, como por exemplo, o que ocorre em uma bomba hidráulica ou um ventilador. Escoamento natural é aquele cujo movimento resulta de meios naturais, como por exemplo, do empuxo, onde a variação de densidade gerada no interior de um fluido com gradiente de temperatura diferente de zero acaba por forçar a parte do fluido de maior temperatura para cima, e a parte do fluido de menor temperatura para baixo.

Como o sistema em estudo será instalado no telhado de edificações, tem-se que sua posição sempre será exposta a uma inclinação fixa. Esta inclinação poderá variar de acordo com o modelo de edificação em que se pretende instalar tal sistema, logo a definição de escoamento livre torna-se não atrativo, pois a cada instalação este teria que ser revisto de forma a suprir as necessidades do projeto, sendo assim para

o presente trabalho, adotou-se o sistema de escoamento forçado, que além de garantir a homogeneidade na temperatura da água de trabalho, poderá ser regulado de acordo com as características climáticas diárias, sendo assim é de fato justificável.

5.5.1.2.6 Escoamento Permanente versus transiente

Regime permanente pode ser definido como todo regime aonde não existe a ocorrência de nenhuma alteração no sistema relacionada ao tempo em um determinado ponto. Em contra partida, define-se como regime transiente todo escoamento que não seja permanente. No presente trabalho a definição quanto ao regime de escoamento irá variar de acordo com o sistema de análise. Por haver fluxo de fluido no interior do equipamento o regime de escoamento seria de caráter transiente, porem como o fluxo interno no equipamento deve ser baixo (devido à baixa absorvidade da água e da necessidade dessa absorver toda a energia térmica das placas), tem-se a existência de um regime semi-estacionário aonde as trocas de calor efetuadas durante o movimento do fluido são ínfimas quando comparadas as taxas térmicas com o fluido em repouso, sendo assim realiza-se a análise do equipamento como sendo de regime permanente.

5.5.1.2.7 Definição das camadas limites

Depois de definidas as propriedades quanto ao escoamento do fluido torna-se possível a elucidação dos conceitos camadas limite. O conceito de camadas-limites é crucial para o entendimento das transferências de calor e de massa por convecção entre uma superfície e um fluido em escoamento em contato com esta superfície. O fenômeno da camada limite hidrodinâmica é descrito como: quando partículas de um fluido em movimento entram em contato com uma superfície estacionária e passam a ter velocidade nula em relação a esta superfície, essas partículas atuam então no retardamento do movimento das partículas adjacentes nas camadas de fluido que atuarão no retardamento do movimento das partículas da próxima camada e assim sucessivamente até que numa distância $y = \delta$ da superfície o efeito torna-se

desprezível (INCROPERA, 2008), a esta região de retardamento de fluido é definido o conceito de camada limite hidrodinâmica.

Da mesma maneira que a camada limite hidrodinâmica, a camada limite térmica pode ser definida como a região δ do escoamento com gradiente térmico devido ao escoamento de um fluido sobre uma superfície, onde por algum motivo as temperaturas da superfície e do líquido sejam diferentes.

Com todas as definições expostas, e com as características dos regimes de escoamento estabelecidos pode-se determinar o valor do coeficiente convectivo e assim mensurar as trocas de calor ocorridas por convecção.

5.5.1.2.8 Radiação térmica

Na análise neste caso a radiação térmica poderá ser desconsiderada, devido as baixas temperaturas dos componentes do equipamento e suas relativamente baixas contribuições para com a transferência de energia. Cabe ressaltar que toda a energia resultante da transmissão da radiação térmica sobre a placa superior, será somada neste caso as parcelas de energia transferida por convecção e condução á placa inferior e assim sucessivamente.

5.5.2 Análise ótica

Devido as suas especificidades as análises óticas não foram divididas como foram na análise térmica, e sim foram abordadas como um todo no mecanismo, dado ao fato de que seus cálculos e considerações apenas se repetem de meio a meio.

Conforme já citado no referencial bibliográfico, sempre que existir interação entre luz/radiação e meios de aparência transparente ou translúcida coexistirão os fenômenos de reflexão, absorção e transmissão, sendo a proporção de ambos proporcionais as propriedades do meio com quem interagem.

A reflexão age no mecanismo desenvolvido, dosando as quantidades de energia que incidem de um meio ao outro, sendo assim sabe-se que está estará sempre presente no decorrer da trajetória da luz no mecanismo inteiro.

Primeiramente, a radiação luminosa atinge a placa translúcida superior do equipamento, e esta por possuir índice de refração diferente ao do meio externo (ar) acaba desviando parte da luz de sua trajetória original refletindo-a e devolvendo-a ao meio em que está se propagava.

Posteriormente parte da luz que não fora refletida pela placa translúcida se divide em duas componentes, onde uma será transmitida através da placa em direção a água e outra será absorvida pelo material da placa. A parte da energia que será absorvida é proporcional ao índice de emissividade do material da qual a placa se constitui, e será com esta análise que se tornara possível quantificar a temperatura da placa superior, dado necessário para posterior análise térmica.

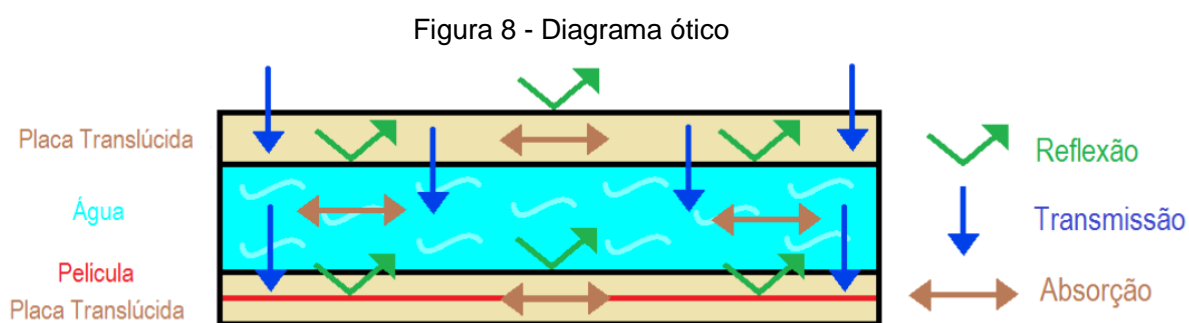
A parte da energia que fora transmitida pela placa até a água, novamente devido às diferenças de índices de refração, sofrera reflexão na fronteira placa-água e tenderá a retornar ao meio em que se propagava, porem neste caso como o meio no qual o feixe de luz está incidindo possui menor índice de refração do que o meio pelo qual o feixe de luz se propagava temos que existira um maior desvio da trajetória original do feixe e conseqüentemente o índice de reflexão será menor. Novamente parte da energia que incidiu no meio água e que não sofreu reflexão será absorvido e transmitido ao novo meio (placa superior), aonde haverá nova reflexão na região de contato entre os meios, e o mesmo ocorrerá até o feixe de luz atingir a película de proteção UV.

Até o presente momento, fora tratado os fenômenos de interação radiação - material apenas pelo lado quântico, onde se era analisado apenas as proporções de energia que interagiam com os meios, porem a radiação solar que é a fonte de energia que tornara o equipamento útil, trata-se de um conjunto de radiações misturados, isto é, para um mesmo pacote de energia o sol emite radiações em vários comprimentos de ondas diferentes, e que cada comprimento de onda, tende a interagir de maneira diferente com os meios em que se propaga, fato que fará com que para cada comprimento de onda que o sol emitir, existira uma nova proporção entre transmissão, absorção e reflexão da radiação no interior do equipamento.

Para as interações com a placa translúcida as variações dos comprimentos de onda não causarão interferência, dado que o fabricante da telha translúcida garante que seu produto é fabricado puramente com polipropileno e que não existem estudos que identifiquem reações diferentes a comprimento de ondas variados,

consideraremos que para todo e qualquer comprimento de onda, as proporções entre transmissão, absorção e reflexão se manterão fixas. No entanto, ao que tange a água e a película de proteção contra raios UV, de acordo com as faixas de comprimento de onda que incidem sobre estas, diferentes reações são obtidas, tendo este fato em mente, os cálculos acerca das reações ópticas dos materiais serão elucidados levando sempre em consideração o comprimento de onda do feixe e sua relação com o meio material.

Para melhor compreensão do que fora relatado acima, foi elaborado um simples diagrama que representa o arranjo construtivo do equipamento neste trabalho desenvolvido.



Fonte: Autoria própria

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 ANÁLISE ÓTICA

Para o desenvolvimento dos cálculos quanto ao comportamento ótico do mecanismo em questão é necessário o conhecimento de algumas propriedades específicas dos materiais que servirão como meio de propagação da luz. Para os cálculos de reflexão, transmissão e absorção da luz serão necessários quantificar o índice de refração e o coeficiente de absorção (absorbância) de cada material.

No entanto, quando se é analisada a interação entre um material e um feixe radioativo é importante conhecer o comportamento do dado material quanto a exposição as diferentes faixas de comprimento das ondas que compõem tal feixe, sendo assim os dados quanto as propriedades dos materiais devem ser discriminadas e analisadas faixa a faixa dos comprimentos de ondas. Como o sol, fonte de energia radiante do presente projeto, emite radiação dentro de uma faixa de comprimento de ondas que varia de 100 a 4000 nm, as propriedades dos materiais que forem necessárias serão analisadas dentro desta mesma faixa.

6.1.1 Absorbância:

A absorbância é a capacidade de um material absorver energia, está é uma propriedade intrínseca de cada material e se faz necessária para efetuar os cálculos quanto à transmissão de energia através de um meio material. Para os cálculos neste trabalho apresentado, será preciso apenas conhecer os valores referentes a absorbância da água, pois os dados quanto a transmissão de energia luminosa através das placas translúcidas e da película protetora são definidos previamente pelos seus respectivos fabricantes. Sendo assim:

Tabela 12 - Absorbância espectral da água líquida

Frequência (nm)	Absorbância (1/cm)
100	100000
200	10000
300	350
400	0,003
500	0,0006
600	0,00009
700	0,0001
800	0,001
900	0,01
1000	0,35
2000	1
3000	25
4000	80

Fonte: Roge (2009).

6.1.1.1 Índice de refração

Quando a luz é transmitida para o interior de um meio transparente ou semitransparente, esta sofre uma diminuição em sua velocidade, resultando em um pequeno desvio de sua trajetória original, a tal fenômeno é dada a definição de refração (CALLISTER, 2008). O índice de refração de um dado material é definido como sendo a razão entre a velocidade da luz no vácuo pela velocidade de propagação no meio em questão, ou seja:

$$n = \frac{c}{v}$$

(31)

O módulo do índice de refração possui relação direta com a constante dielétrica do material, sendo sua quantificação proposta como:

$$n \cong \sqrt{\epsilon_r} \quad (32)$$

Como a constante dielétrica de cada material possui relação direta com sua polarização eletrônica, dependendo o tamanho do comprimento da onda que causar a perturbação no meio, a quantidade de energia empregada irá variar, resultando em uma resposta diferente quanto a própria propriedade. Sendo assim por haver correlação direta com a constante dielétrica, que por sua vez varia de acordo com o comprimento de onda incidente, o índice de refração também irá possuir correlações com tal fenômeno, no entanto não é usual a discriminação do índice de refração em função dos comprimentos de luz existentes, sendo os valores demonstrados em tabelas e livros acadêmicos apenas médios quanto à resposta de tal propriedade a diferentes comprimentos de perturbações.

Os valores médios para o índice de refração utilizado para efeitos de cálculos foram:

Tabela 13 - Índice de refração dos componentes do trocador de calor

Material	Índice de Refração
Água	1,33
Polipropileno	1,49
Isufilm	7,87
Ar	1,00

Fonte: Callister (2008).

6.1.2 Reflexão

Para o cálculo da reflexibilidade além de conhecer as propriedades dos materiais é necessário conhecer a trajetória completa da luz, conhecer qual o meio pelo qual a luz se propaga e qual o meio em que a luz pretende incidir. No presente trabalho as seguintes combinações de meios serão elucidadas:

- Ar – Polipropileno;
- Polipropileno – Água;

- Água – Polipropileno;
- Polipropileno – Ar.

É importante ressaltar que a ordem dos meios implica em valores diferentes quanto à reflexibilidade resultante. Em casos em que o meio pelo qual o feixe de luz se propaga é menos refringente do que o meio em que o feixe pretende incidir não existe implicâncias quanto ao ângulo de incidência do feixe, sendo a variação deste apenas um fator de interferência na magnitude final da reflexão, no entanto nos casos em que o meio pelo qual o raio se propaga é mais refringente do que o meio no qual o feixe pretende incidir, a inclinação do feixe incidente pode acarretar no fenômeno de reflexão total, fato que faria com que toda a luz proveniente do meio externo fosse impedida de adentrar o meio interno da edificação, fazendo com que o equipamento desenvolvido torne-se dispensável.

Para evitar que o efeito de reflexão total ocorra nos casos em que a luz se propaga do Polipropileno para a Água e do Polipropileno para o ar recorreremos a lei de Snell que permite calcular o ângulo crítico em que ocorre o fenômeno de reflexão total. A lei de Snell é elucidada como:

$$n_a \cdot \text{sen}(\theta_a) = n_b \cdot \text{sen}(\theta_b) \quad (33)$$

Onde:

- n_a é o índice de refração do meio mais refringente;
- n_b é o índice de refração do meio menos refringente;
- θ_a é o ângulo de incidência do feixe incidente em relação ao eixo normal ao plano;
- θ_b é o ângulo de refração do feixe incidente em relação ao eixo normal ao plano.

Nos casos em que ocorre a reflexão total temos que o ângulo de refração do feixe incidente é perpendicular ao eixo normal do plano, portanto a seu valor atribui-se 90° , e sendo:

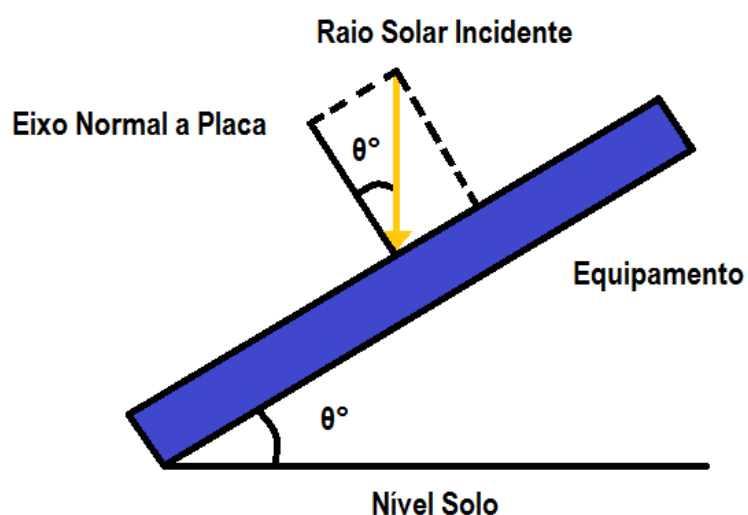
$$\text{sen}(90^\circ) = 1 \quad (34)$$

Nos sobra apenas:

$$\text{sen}(\theta_a) = \frac{n_b}{n_a} \quad (35)$$

Onde θ_a será considerado o ângulo crítico. Para efeitos de cálculos considera-se a radiação solar verticalmente incidente ao plano terrestre, sendo o ângulo crítico, portanto o ângulo entre o eixo normal ao mecanismo e o eixo normal ao plano terrestre.

Figura 9 - Orientação do equipamento



Fonte: Autoria Própria

Realizando os cálculos propostos para os referidos meios obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 14 - Ângulos de incidência crítica

Meios	Ângulo crítico
Polipropileno – Água	63.200°
Polipropileno – Ar	42.155°

Fonte: Autoria Própria

Logo evitando valores de inclinação iguais ou maiores que os ângulos críticos acima descritos garante-se de que não haverá reflexão total da energia incidente no equipamento incidente. Com os ângulos críticos definidos e levando em consideração os fatores construtivos sugeridos pelo Artigo Técnico da Gerdau (2012), adotou-se o ângulo de inclinação base para o projeto de 30°.

Para calcular a reflexão de meios cujos os raios incidentes sejam normais a superfície pode-se utilizar a equação (5), cuja forma apresenta:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (36)$$

Onde n_2 representa o índice de refração do meio pelo qual o feixe eletromagnético percorre e n_1 é o índice de refração do meio ao qual o feixe eletromagnético incidirá. Para realizar os cálculos quanto a reflexão do equipamento em questão recorreremos a geometria. Considerando o eixo normal ao equipamento como sendo o cateto adjacente e o feixe de radiação solar como hipotenusa obtemos a seguinte fórmula:

$$R' = \frac{R}{\cos(\theta^\circ)} \quad (37)$$

Aplicando os cálculos aos meios de análise obtemos os seguintes resultados:

Tabela 15 - Taxas de reflexão resultante da associação de meios existentes no trocador de calor

Meio (Ar-Placa)	Meio (Placa - Água)	Meio (Água - Placa)	Meio (Placa - Ar)
3,87 %	0,322%	0,322%	3,87%

Fonte: Autoria Própria

Cabe ressaltar que porções de luz que são refletidas por meios internos do equipamento (lâmina d'água, placa translúcida inferior e película) tendem a retornar no caminho reverso ao sentido original, e ao confrontarem outro meio nesse sentido

sofrerão novamente o fenômeno da reflexão fazendo com que a parcela do feixe refletido retorne a sua trajetória original, tal efeito continuará a se repetir até que não haja parcela de energia a ser refletida. Para termos de cálculos de quantidade de energia transmitida à água e ao meio interno da habitação apenas duas interações deste fenômeno foram consideradas.

6.1.3 Transmissividade

Da mesma forma que na análise de refletividade, para o estudo da transmissividade as considerações quanto ao conhecimento dos meios pelos quais a luz incide e se propaga é de suma importância, dado que para a elucidação dos cálculos quanto a taxa de transmissividade de um meio são dependentes da taxa de reflexibilidade que por sua vez variam de acordo com o arranjo dos meios, sendo assim os seguintes meios serão analisados:

- Polipropileno (placa superior);
- Água (lâmina d'água);
- Polipropileno (placa inferior);
- Película de proteção.

Para realizar os cálculos quanto à quantidade de energia transmitida através de um meio para outro utilizaremos a equação (6) descrita na referência bibliográfica:

$$I_T = I_0 \cdot (1 - R)^2 \cdot e^{-\beta \cdot l} \quad (38)$$

Rearranjando a fórmula acima descrita podemos quantificar a transmissividade em termos de taxa:

$$\frac{I_T}{I_0} = (1 - R)^2 \cdot e^{-\beta \cdot l} \quad (39)$$

Sendo que R é a refletividade, β é a transmissividade l é a espessura do meio e a relação $\frac{I_T}{I_0}$ representa a taxa de energia transmitida pela energia incidente.

A transmissividade das placas translúcidas, de acordo com o fabricante variam em torno de 70% enquanto a película de proteção pode possuir valores entre 1 e 98% de acordo com o comprimento de onda dos feixes incidentes.

Tabela 16 - Taxas de transmissividade dos meios do trocador de calor

Comprimento de onda (nm)	Película	Placas Translúcidas
100	1%	20%
200	1%	20%
300	1%	20%
400	98%	70%
500	98%	70%
600	98%	70%
700	98%	70%
800	3%	30%
900	3%	30%
1000	3%	30%
2000	3%	30%
3000	3%	30%
4000	3%	30%

Fonte: Autoria Própria

Para calcular as taxas de transmissividade da água primeiramente é necessário estabelecer a espessura da lâmina d'água utilizada em tal mecanismo. Adotando a medida de 25,6 mm para a espessura da lâmina d'água obtemos os seguintes valores:

Tabela 17 - Taxas de transmissão da lâmina d'água

Comprimento de onda (nm)	Espessura (mm)	Transmissão (%)
100	25,6	0,000
200	25,6	0,000
300	25,6	0,000
400	25,6	98,597
500	25,6	99,205
600	25,6	99,334
700	25,6	99,332
800	25,6	99,103
900	25,6	96,846
1000	25,6	40,561
2000	25,6	5,233
3000	25,6	0,000
4000	25,6	0,000

Fonte: Autoria Própria

6.1.4 Absorção

Dado ao fato de que a luz ao incidir em um meio translúcido sofre três fenômenos distintos, absorção, reflexão e transmissão, o somatório destas resultam em cem por cento, sendo assim, temos que a absorvidade poderá ser obtida efetuando-se:

$$A = 1 - R - I_T \quad (40)$$

Aonde A é a taxa de absorção do meio analisado, R é a taxa de refletividade e IT é a taxa de energia transmitida. Como a refletividade é uma análise entre a associação de dois meios a absorvidade terá o mesmo comportamento. Os valores obtidos pelos meios a tal propriedade foram:

Tabela 18 - Taxas de absorção resultante da associação de meios existentes no trocador de calor

Comprimento de onda (nm)	Água	Relação (Ar-Placa)	Relação (Placa - Água)	Relação (Água - Placa)
100	99,678%	2,284%	79,678%	80%
200	99,678%	2,284%	79,678%	80%
300	99,678%	2,284%	79,678%	80%
400	1,081%	2,613%	29,678%	30%
500	0,473%	2,613%	29,678%	30%
600	0,344%	2,613%	29,678%	30%
700	0,346%	2,613%	29,678%	30%
800	0,573%	5,621%	69,678%	70%
900	2,832%	5,621%	69,678%	70%
1000	59,177%	5,621%	69,678%	70%
2000	94,445%	5,621%	69,678%	70%
3000	99,678%	5,621%	69,678%	70%
4000	99,678%	5,621%	69,678%	70%

Fonte: Autoria Própria

Com os fenômenos reflexão, transmissão e absorção quantificados, torna-se possível mensurar as correlações de trocas energéticas entre o meio externo e o meio interno da habitação em que o referido equipamento fora instalado, assim como as temperaturas que tais fenômenos implicam a cada meio.

6.2 RADIAÇÃO SOLAR

As trocas energéticas ocorridas no interior do mecanismo são de grande importância para a realização de um balanceamento acerca da passagem de luz do meio externo ao meio interno das habitações, sendo este dado necessário para a avaliação da viabilidade construtiva do equipamento em questão. No entanto antes de analisarmos o balanço energético é necessário o conhecimento das faixas de radiação que os comprimentos de onda emitidos pelo sol se encontram e suas respectivas proporções, sendo assim:

Tabela 19 - Espectro da radiação solar

Característica	Proporção	Comprimento de onda (nm)
	9%	100
Ultravioleta	9%	200
	9%	300
	40%	400
Espectro de Luz	40%	500
Visível	40%	600
	40%	700
	51%	800
	51%	900
Infravermelho	51%	1000
	51%	2000
	51%	3000
	51%	4000

Fonte: Autoria Própria

Para quantificar as porcentagens de energia que serão transmitidas através do mecanismo ao ambiente interno apenas os dados quanto ao fenômeno transmissão são necessários. Para encontrar tal quantidade de energia, analisaremos o equipamento como uma associação em série de meios integrantes, onde a transmissão resultante se dará através de:

$$T_R = T_{Placa\ Sup} \cdot T_{Água} \cdot T_{Placa\ Inf} \cdot T_{Película}$$

(41)

Onde cada sub-índice faz referência ao índice de transmissão de cada meio que a luz percorre. Analisando cada comprimento de onda e seu respectivo espectro de luz encontra-se as taxas de energias transmitidas de acordo com porcentagem com que estas são emitidas pelo sol, e somando as taxas encontradas obtemos o valor máximo de energia transmitida do meio externo ao meio interno.

$$T_{final} = \sum_{100 \text{ nm}}^{4000 \text{ nm}} \%_{\text{Radiação Solar}} \cdot T_R$$

(42)

Efetuada os cálculos com a fórmula acima descrita obtemos os seguintes valores:

Tabela 20 - Taxas de energia transmitida a cada meio material

Característica	Proporção radiação solar	Comprimento de onda (nm)	Energia Transmitida Ambiente Interno	Energia Transmitida a Água
Ultravioleta	9%	100	0,000%	0,600%
	9%	200	0,000%	0,600%
	9%	300	0,000%	0,600%
Espectro de Luz Visível	40%	400	4,735%	9,517%
	40%	500	4,764%	9,518%
	40%	600	4,770%	9,519%
	40%	700	4,774%	9,519%
	51%	800	0,034%	5,001%
Infravermelho	51%	900	0,033%	4,945%
	51%	1000	0,014%	3,553%
	51%	2000	0,002%	2,679%
	51%	3000	0,000%	2,550%
	51%	4000	0,000%	2,550%
Energia total transmitida			19,122%	61,153%
Energia do espectro de luz visível			19,038%	38,073%

Fonte: Autoria Própria

Analisando apenas os valores obtidos com o referido equipamento não podemos ter uma base sólida quanto à análise de sua funcionalidade, sendo assim os cálculos acima explicitados serão replicados para o caso específico de que existisse

apenas uma placa translúcida convencional instalada nas mesmas condições as que o referido equipamento fora proposto. Replicando os cálculos obtemos os seguintes resultados:

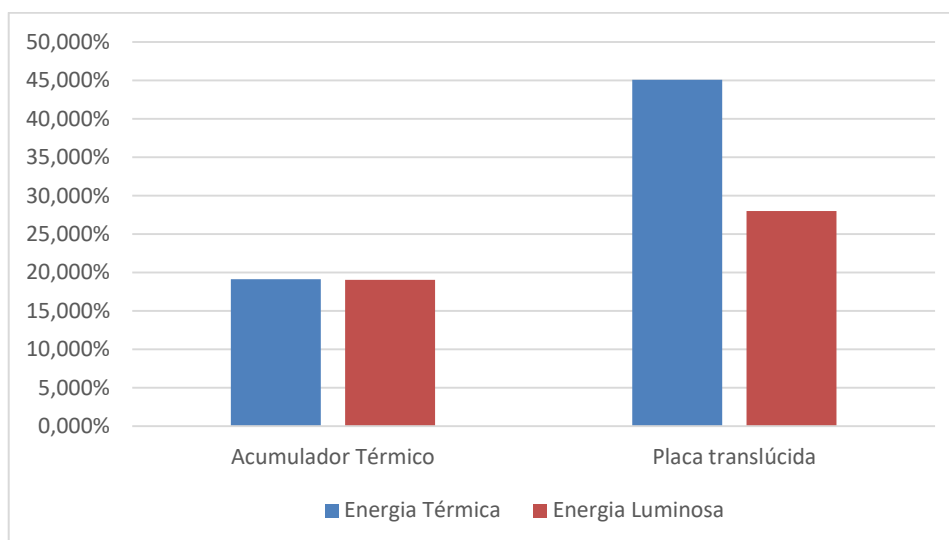
Tabela 21 - Comparativo entre equipamentos

Taxa de Energia Transmitida		
Comprimento de onda (nm)	Equipamento desenvolvido	Placa translúcida convencional
100	0,000%	0,60%
200	0,000%	0,60%
300	0,000%	0,60%
400	4,735%	7,00%
500	4,764%	7,00%
600	4,770%	7,00%
700	4,774%	7,00%
800	0,034%	2,55%
900	0,033%	2,55%
1000	0,014%	2,55%
2000	0,002%	2,55%
3000	0,000%	2,55%
4000	0,000%	2,55%
Energia total	19,122 %	45,100 %
Energia visível	19,038 %	28,000 %

Fonte: Autoria Própria

Analisando os dados obtidos percebemos que o referido equipamento produz uma redução de 26,03% na energia total transferida ao ambiente interno, e apenas 9% de redução da energia “visível” transmitida com relação a uma placa translúcida convencional, sendo, portanto, considerado viável sobre o ponto de vista ótico. Esboçando estes valores graficamente:

Gráfico 1 - Comparativo equipamento desenvolvido x placas convencionais



Fonte: Autoria Própria

6.3 ANÁLISE TÉRMICA

Como a água no interior do equipamento não permanece em repouso, uma análise ótica somente não será suficiente para definir a viabilidade do equipamento em questão, portanto uma segunda análise térmica será realizada.

Primeiramente é necessário conhecer as condições climáticas do local de referência (Pato Branco – PR) e para tanto serão utilizados os dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) referente aos meses de verão de 2016. Para as datas de 01/12/15 até 29/02/16 os seguintes dados foram levantados:

Tabela 22 - Temperatura do ambiente externo

Temperatura Externa		
	Máximo	Mínimo
	(°C)	(°C)
Valor	33	15,2
Média	28,16	19,6
Média Global	24	

Fonte: Autoria Própria

Além dos dados de temperatura externa é necessário quantificar a temperatura interna das habitações a que se pretende instalar o equipamento desenvolvido, no entanto como não se sabe o tipo de edificações em que o mecanismo será instalado, dados práticos quanta a temperatura interna não serão levados em consideração.

6.3.1 Temperatura Interna

Para estimar a temperatura interna das edificações utilizaremos o método desenvolvido por Geovani (1998) apresentadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina por Ana Lígia Papst de Abreu em 2004. Tal método propõe uma forma de quantificar a máxima temperatura no interno de edificações e é dada como:

$$T_{m\acute{a}x} \equiv GT_{avg} + \Delta T + k_1 \cdot (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (43)$$

Onde:

- $T_{m\acute{a}x}$ é a máxima temperatura no interior das edificações;
- GT_{avg} é uma média de um período completo de uma dada série experimental;
- ΔT é o valor médio da temperatura máxima interna acima da temperatura média externa;
- k_1 é uma razão da taxa das variações diárias da temperatura máxima interna para a taxa de variação da temperatura média externa, dependendo do nível de massa térmica;
- T_{avg} é a temperatura média externa de um determinado dia;
- $(T_{avg} - GT_{avg})$ representa as variações diárias na temperatura média externa.

O valor de k_1 pode ser obtido matematicamente como:

$$k_1 = \frac{\Delta T_{Max\ int}}{\Delta T_{Med\ ext}} \quad (44)$$

Onde

- $\Delta T_{Máx\ int}$ é a diferença da temperatura máxima interna de um determinado dia para o dia anterior;
- $\Delta T_{Med\ ext}$ é a diferença da temperatura média de um determinado dia para o dia anterior.

Os valores de k_1 e ΔT são referentes as características térmicas das edificações e foram apresentados como:

Tabela 23 - Valores derivados experimentalmente para a variável k_1

Tipo de Envoltória	K
Pouca Massa	0,8
Muita Massa	0,5

Fonte: Abreu (2004).

Tabela 24 - Valores derivados experimentalmente para a variável ΔT .

Característica do ambiente (ΔT)	Pouca Massa	Muita Massa
Janelas sem sombreamento, sem ventilação noturna	11	7,5
Janelas sombreadas, sem ventilação noturna	9	5
Janelas sombreadas, pouca velocidade na ventilação noturna	8	2,5
Janelas sombreadas, alta velocidade na ventilação noturna	8	2
Janelas sombreadas, cor branca, sem ventilação		2,5
Janelas sombreadas, cor branca, ventilação noturna		0,5

Fonte: Abreu (2004)

Fazendo uso dos dados apresentados e tomando como base os valores de T_{avg} e GT_{avg} como:

Tabela 25 - Valores calculados para as variáveis T_{avg} e GT_{avg}

Propriedade	° C
GT avg	24
T avg	15

Fonte: Autoria Própria

Obtermos os seguintes valores:

Tabela 26 - Temperaturas internas obtidas

N°	Pouca Massa	Muita Massa
Médias (°C)	26	23
Média Global (°C)	24,5	

Fonte: Autoria Própria

6.3.2 Temperatura da placa translúcida superior

Necessária para estimar as trocas térmicas entre as partes superiores e inferiores do equipamento desenvolvido, a temperatura da placa translúcida será obtida levando em consideração apenas a energia térmica absorvida via irradiação, ou seja, desconsiderando os efeitos de condução e convecção. Sendo assim utilizaremos a lei de Stefan Boltzmann aplicada a quaisquer superfícies para estimar a temperatura resultante da placa translúcida superior devido à incidência solar:

A lei de Stefan Boltzmann propõe:

$$\dot{Q}_{emis} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (45)$$

Rearranjando-a obtemos a seguinte equação:

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{\dot{Q}_{emis}}{\varepsilon \cdot \sigma}} \quad (46)$$

Onde

- \dot{Q}_{emis} é a energia incidida sobre a placa, sendo de acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil disponibilizado pela ANEEL igual a 902,778 J/m².s multiplicado pelo coeficiente de absorvidade da placa 51,27% ;
- ε é a emissividade do polipropileno considerada como sendo 0,91;
- σ é a constante de Stefan Boltzmann;
- T_s é a temperatura encontrada da placa translúcida de 34,60 °C (307.749 K).

Com a temperatura do ambiente interno e a temperatura da placa translúcida superior, adotamos a temperatura da água como sendo a média destes dois valores:

Tabela 27 - Temperaturas adotadas

	Pouca Massa	Muita Massa
T int (°C)	26	23
T Placa Sup (°C)	35	35
T H2O (°C)	30	29

Fonte: Autoria Própria

6.3.3 Análise das trocas de calor

A princípio, o principal meio de interesse do presente trabalho é quantificar a capacidade da água em realizar trocas de calor, para que se possa analisar a viabilidade construtiva de tal equipamento, sendo assim após definidos todos os parâmetros de entrada necessários para realização das estimativas de trocas de calor inicia-se as análises quanto ao comportamento térmico da água. Para efeitos de cálculos consideremos as tabelas de propriedades da água saturada variante em torno de sua temperatura, aonde através de interpolações simples ajustamos as propriedades à temperatura de 29 °C requerida.

Tabela 28 - Propriedades da água saturada

Propriedade	Abreviatura	Unidade de Medida	Valores Obtidos
Temperatura	-	°C	29
	-	K	302
Calor específico	Cp	J/kg.K	4178,60
Viscosidade dinâmica	μ	N.s/m ²	0,00082060
Condutibilidade	K	W/m.K	0,62
Número de Prandtl	Pr	-	5,57
Coeficiente de Expansão Térmica	B	1/K	0,0002939
Volume específico	V	m ³ /kg	0,0010038
Densidade específica	P	kg/m ³	996,2153341
Viscosidade cinemática	N	m ² /s	0,0000008

Fonte: Incropera (1998).

Com os dados referentes às propriedades da água quantificados resta apenas calcular o coeficiente de convecção para trocas térmicas em fluidos, e para o cálculo de tal será utilizado o número de Nusselt dado por:

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} \cdot L}{k} \quad (47)$$

Onde:

- \bar{h} é o coeficiente convectivo médio;
- L é a espessura/altura do escoamento;
- k é o coeficiente de condutibilidade do fluido em escoamento.

Para quantificar o número de Nusselt será utilizado o método descrito por Churchill e Ozoe (1973) apout Bejan (1996) para fluxo de calor uniforme com regime laminar e convecção interna forçada corresponde ao referido equipamento.

Tal método apresenta um grupo adimensional denominado número de Graetz e analisa sua correlação com o número de Nusselt, sendo válida tanto para a região de entrada como na região térmica bem desenvolvida. O número de Graetz pode ser dado como:

$$Gz \equiv \frac{D_H}{L} (R_e \cdot P_r) \quad (48)$$

Onde:

- D_H é o diâmetro hidráulico da secção;
- L é o comprimento de desenvolvimento do escoamento;
- R_e é o número de Reynolds;
- P_r é o número de Prandtl;

Entrando com o valor de 0,05098 m para o diâmetro hidráulico (obtido com a dimensão fixa da largura da telha translúcida e com o espaçamento entre estas variando de 10 a 200 mm), utilizando o número de Prandtl de 5,57 e adotando o valor máximo do número de Reynolds para escoamento laminar de 2300 obtemos os valores para Graetz de:

Tabela 29 - Valores calculados de Graetz

s (m)	Dh (m)	Re	V (m/s)	Gz
0,010	0,020	2300	0,095	42,633
0,020	0,040	2300	0,048	85,124
0,030	0,060	2300	0,032	127,475
0,040	0,079	2300	0,024	169,685
0,050	0,099	2300	0,019	211,756
0,060	0,119	2300	0,016	253,688
0,070	0,138	2300	0,014	295,481
0,080	0,158	2300	0,012	337,138
0,090	0,177	2300	0,011	378,657
0,100	0,197	2300	0,010	420,040
0,110	0,216	2300	0,009	461,288
0,120	0,235	2300	0,008	502,401
0,130	0,254	2300	0,007	543,380
0,140	0,274	2300	0,007	584,225
0,150	0,293	2300	0,006	624,938
0,160	0,312	2300	0,006	665,518
0,170	0,331	2300	0,006	705,967
0,180	0,350	2300	0,005	746,285
0,190	0,368	2300	0,005	786,473
0,200	0,387	2300	0,005	826,531

Fonte: Autoria Própria

A velocidade apresentada na tabela acima foi obtida através do cálculo do número de Reynolds (equação 30) e se torna necessária para a quantificação do número de Graetz. A relação entre a área da placa translúcida e a altura da camada d'água implica diretamente no peso que tal equipamento obterá, sendo assim uma nova análise quanto ao peso do equipamento se torna necessária.

Analisando a pressão que a massa d'água contida no interior do equipamento exerce sobre a cobertura na qual fora instalada o equipamento desenvolvido, a espessura da lâmina d'água fora adotada de modo que sua força peso não ultrapassasse o valor indicado para cargas críticas de 0,25 kN/m² apresentados pela norma brasileira NBR 8800 – 2008, sendo assim obtemos os seguintes valores:

Tabela 30 - Relação construtiva para a lâmina d'água

s (m)	Gz	P (kN/m ²)
0,0100	42,633	0,098
0,0200	85,124	0,195
0,0256	108,858	0,250
0,0300	127,475	0,250
0,0400	169,685	0,250
0,0500	211,756	0,293
0,0600	253,688	0,391
0,0700	295,481	0,489
0,0800	337,138	0,586
0,0900	378,657	0,684
0,1000	420,040	0,782
0,1100	461,288	0,880
0,1200	502,401	0,977
0,1300	543,380	1,075
0,1400	584,225	1,173
0,1500	624,938	1,270
0,1600	665,518	1,368
0,1700	705,967	1,466
0,1800	746,285	1,564
0,1900	786,473	1,661
0,2000	826,531	1,759

Fonte: Autoria Própria

Com os números de Reynolds, Prandtl e Graetz quantificados se torna possível efetuar o cálculo do número Nusselt, e para este será utilizado a equação proposta por Churchill e Ozoe (1973) apout Bejan (1996). Esta é definida como:

$$\overline{Nu}_D = 4,364 \left[1 + \left(\frac{Gz}{29,6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Gz/19,04}{\left[1 + (Pr/0,0207)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 + (Gz/29,6)^2 \right]^{\frac{1}{3}} } \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (49)$$

Com a aplicação da referida fórmula obtêm-se os seguintes valores para o número de Nusselt e utilizando ainda a formula (47) calcula-se o valor atribuído ao coeficiente convectivo.

Tabela 31 - Resultados obtidos: número de Nusselt e coeficiente convectivo

Gz	Nu _D	h (W/ m ² .K)
42,633	5,819	358,311
85,124	8,833	271,976
0,870	4,365	105,010
1,862	4,370	105,108
108,858	10,928	262,871
127,475	12,709	260,876
169,685	17,063	262,683
211,756	21,710	267,382
253,688	26,562	272,612
295,481	31,568	277,712
337,138	36,700	282,497
378,657	41,935	286,930
420,040	47,259	291,023
461,288	52,661	294,805
502,401	58,131	298,308
543,380	63,661	301,560
584,225	69,247	304,587
624,938	74,882	307,414
665,518	80,561	310,060
705,967	86,282	312,542
746,285	92,039	314,877

Fonte: Autoria Própria

Utilizando o valor do coeficiente convectivo obtido para a espessura da lâmina d'água de 25,6 mm, junto com as temperaturas da placa translúcida superior de 35°C e a temperatura da água de 29 °C, calculamos a troca de calor via convecção no interior do equipamento através da equação 28, obtendo o valor de:

$$\dot{Q}_{convecção} = 1577,225 \frac{W}{m^2} \quad (50)$$

Logo se tal quantidade de calor é transferida do meio externo a água, para impedir que exista transferência de calor ao meio interno é necessário que a água seja capaz de absorver tal energia, sendo assim será utilizada a seguinte fórmula para determinar a vazão mássica necessária para que a água absorva toda a energia térmica:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (51)$$

Onde:

- \dot{Q} é a quantidade de calor absorvido;
- \dot{m} é a vazão mássica necessária;
- C_p é o calor específico do meio á determinada temperatura;
- ΔT é a diferença de temperaturas ao que o meio é exposto.

Aplicando o valor transferido por convecção multiplicado pela área de contato para a quantidade de calor absorvido, o valor do calor específico da água a 30,28°C e a diferença de temperaturas entre a placa translúcida superior e a lâmina d'água, a vazão mássica resultou no seguinte valor:

$$\dot{m} = 0,388 \frac{kg}{s} \quad (52)$$

Dividindo este valor pela densidade específica da água a temperatura de 29 °C, e tratando tal fenômeno como sendo de superfície encontramos a velocidade necessária para promover tal vazão:

$$v = 0,0006358 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (53)$$

Como tal velocidade é diferente da utilizada na quantificação no número de Reynolds e conseqüentemente do número de Graetz, o cálculo destes dois parâmetros deve ser refeito, resultando portanto em um método iterativo que converte aos valores finais de:

Tabela 32 - Valores finais

Parâmetros	Valor Obtido
V (m/s)	0,00025
Re	18,3791
Gz	0,86987
Nu _D	4,36548
h (W/ m ² . K)	105,010
Q (W/m ²)	630,061
ṁ (kg/s)	0,15400

Fonte: Autoria Própria

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para análise de resultados, considera-se o exemplo hipotético de um ambiente industrial de índice de trabalho médio com aproximadamente 2500 m^2 , aonde pretende-se efetuar a instalação de um sistema de iluminação.

De acordo com a norma NBR 5413 de 1992 que explana sobre a iluminação de interiores, para ambientes industriais com tarefas de requisitos visuais normais e atividades de trabalho médio de maquinaria ou escritórios, os valores bases de luminescência podem variar entre 500 a 1000 lux para que os requisitos de ergonomia sejam sanados, sendo assim o ambiente descrito de 2500 m^2 necessitaria de 1 250 000 a 2 500 000 lumens para sua iluminação.

Levando em consideração luminárias destinadas a barracões industriais existentes no atual mercado, temos que em média lâmpadas LED produzem 100 lumens por Watts de potência que possuem, sendo necessárias então de 70 a 140 luminárias de 180 W para garantir uma iluminação adequada ao ambiente industrial em questão.

O equipamento desenvolvido no presente trabalho possui capacidade de transmitir ao ambiente interno 19,038% de toda energia luminosa que sobre este for incidido, já levando em consideração que 40% da energia proveniente do sol corresponde diretamente a faixa de energia dentro do espectro visível humano. Tal fato desconsiderando as dimensões originais da placa translúcida, remete ao caso de que se toda a iluminação fosse proveniente única e exclusivamente pelo equipamento desenvolvido, seria necessária uma área mínima de $72,862\text{ m}^2$ a $145,764\text{ m}^2$ de cobertura ocupada pelo equipamento em questão para que toda a demanda energética fosse suprida, ou seja cada luminária LED de 180 W de potência corresponde a $1,0487\text{ m}^2$ do equipamento em questão.

Considerando que fossem necessários apenas 500 lux ou 12 500 W para promover a iluminação adequada ao ambiente em questão, com a aplicação do equipamento desenvolvido, dentro de um período de um mês (22 dias uteis) considerando 8 horas de uso incessante e o preço do kW/h como R\$ 0,29 seriam economizados R\$ 638,00.

Quanto ao comportamento térmico, se comparadas as taxas de energia em forma de calor transferidas ao ambiente interno pelo equipamento em questão com as

taxas transferidas por uma placa translúcida convencional, encontraríamos uma redução de 370,139 W/m² a qual seria equivalente a quantidade de calor gerada por um motor elétrico de 352 W por metro quadrado de cobertura. A substituição da utilização do equipamento em questão por placas translúcidas convencionais no exemplo acima elucidado, seria equivalente a ligarmos um motor elétrico de 10 e 20 cv's com perdas de 65% por efeito Joule no interior da edificação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Placas ou telhas translúcidas são equipamentos amplamente utilizados como parte integrante de coberturas de estruturas industriais buscando sempre obter valores positivos referentes ao aproveitamento energético. Tal equipamento apresenta bons resultados quanto a seu comportamento ótico, no entanto, do ponto de vista térmico sua utilidade acaba comprometendo em grande escala o conforto térmico dos habitantes das edificações em que estas são instaladas, fato que limita sua utilização e a lucratividade de quem faz seu uso.

Baseado em tais fatos a pretensão do presente trabalho era a de desenvolver um mecanismo similar utilizando os mesmos materiais bases e que fosse capaz de permitir que a luz solar adentrasse as edificações ao mesmo tempo que evitasse a transmissão de calor do meio externo para o meio interno e que se possível ainda, promovesse o aquecimento do fluido (água) contido em seu interior para que este pudesse ser posteriormente utilizado em outras aplicações.

O estudo da transmissão de energia entre os meios externos e internos do equipamento desenvolvido apresentou valores satisfatórios quanto a seu arranjo construtivo, as taxas de 19,038% para transmissão de energia dentro da faixa do espectro visível humano e 19,122% para transmissão de energia de origem térmica foram obtidas, representando uma redução de 9% quanto a transmissão de energia luminosa e 26% quanto a transmissão de energia térmica quando comparados a uma placa translúcida convencional. Assim se confirma o cumprimento dos objetivos principais de transmitir energia luminosa externa ao ambiente interno sem grandes perdas e evitar o comprometimento do conforto térmico do interior das edificações sem a necessidade do uso de energia elétrica.

Quanto à utilidade da água presente no interior do equipamento valores de 29°C e 0,155 L/s foram obtidos para temperatura e vazão respectivamente, permitindo que este fluido possa ser utilizado em atividades rotineiras de limpeza, sem nunca ser utilizada para o consumo humano ou na preparação de alimentos, devido ao seu contato com um material (polipropileno) não completamente inerte a sua presença. A vazão e a espessura obtidas foram capazes de garantir com que a lâmina d'água absorvesse toda a energia transmitida pela placa translúcida superior do

equipamento, reduzindo a transferência de calor ao ambiente interno através de si a praticamente zero.

É importante salientar que o equipamento em questão trata apenas do arranjo físico e da aplicação dos determinados materiais analisados no desenvolvimento, podendo este ter suas dimensões alteradas de acordo com a necessidade a que se pretende cumprir. Originalmente o equipamento fora dimensionado para suprir as necessidades da cidade de Pato Branco – PR e as placas translúcidas possuem seis metros de comprimento por aproximadamente um metro de largura, porém todos os cálculos térmicos e óticos foram executados de modo a sempre trabalhar com taxas por metro quadrado e porcentagens de transmissão fazendo com que os cálculos apresentados possam ser replicados a outras localidades e com placas de diversas dimensões de modo que a finalidade do equipamento não seja comprometida.

Levando em consideração os dados apresentados acima pode se concluir que o equipamento desenvolvido possui vários índices de viabilidade quanto a sua utilização e que sua aplicação em ambientes com amplas áreas cobertas e alto índice de consumo energético com iluminação é extremamente aconselhado, promovendo economia monetária e auxiliando na preservação do meio ambiente.

REFERENCIAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília: Centro de Documentação e Informação (CEDOC), 2002.

ATCO. **Telhas Translucidas de Polipropileno**, 2017. Disponível em: <<http://atco.com.br/telhas-translucidas-polipropileno.php>>. Acesso em: 07/04/2017.

ASSOCIAÇÃO SUL BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO – ASBRAV. **Temperatura de conforto Térmico**. Porto Alegre: 2016.

BEJAN, Adrian. **Heat Transfer**. 1. Ed. Durham, NC. John Wiley & Sons INC, 1994.

BIASOTTO, Eloisa Mano. **Polímeros**: Como materiais de engenharia. 2. Ed. São Paulo. Edgard Blücher Ltda, 2000.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CALLISTER, William D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CENGEL, Yunus A. **Transferência de Calor e de Massa: uma abordagem pratica**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

CENGEL Yunus A; CIMBALA, John M. **Mecânica dos Fluidos**: Fundamentos e aplicações. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

D'AQUINO, Camila Agner. **Desenvolvimento de materiais poliméricos transparentes para foto biorreatores**. 99 páginas. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Paraná, 2012.

FREIRE, Estevão et al. **Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro**. 8 páginas. Artigo Técnico Científico - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.

GERDAU. **Perfis Estruturais**. São Paulo, 2012. Disponível em: <www.gerdau.com.br>.

HECHT, Eugene. **Optics**. 3ª edição. New York: AddisonWesley Longman, 1998.

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Carta climática de Pato Branco**. Londrina: 2015. Disponível em: <<http://www.iapar.br>>. Acesso em: 12/07/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Distrito Federa: 2014. Disponível em: <<http://ww2.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso em: 07/04/2017.

INCROPERA, Frank. P; DE WITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

INCROPERA, Frank. P; DE WITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Galpões para usos gerais**. 4ª Edição, Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro de Construção Em Aço, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA LABSOLAR (INMET). **Atlas De Irradiação Solar Do Brasil**. 65 páginas, Brasília: Laboratório De Energia Solar – EMC/UFSC, 1998.

KREITH, Frank. **Princípios da transmissão de calor**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

LIMA, Rogê Assis. **Propriedades Óticas da Água:** Identificação de Contaminantes contidos por Espectroscopia de Transmissão. 135 páginas. Dissertação de Mestrado- Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal De Juiz De Fora, 2008.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos:** Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes. 6. ed. São Paulo: Ar líber, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de monitoramento do sistema elétrico Brasileiro:** Dezembro – 2014. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2014.

MÜLHMANN, Alana Paula; FARIAS ROSSATTO, Anderson Cáceres. **Análise da diferença no conforto térmico em diferentes pavimentos em um edifício residencial.** 82 páginas. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

MSPC, Informações Técnicas. **Ciência dos Materiais.** 2009. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/ciemat/cmat310.shtml>>. Acesso em: 08/04/2017.

NORMA BRASILEIRA. **Instalação de Ar-condicionado, sistemas Centrais e Unitários: Projetos das Instalações -ABNT NBR 16 401 – 1: 2008.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2008.

NORMA BRASILEIRA. **Instalação de Ar-condicionado sistemas Centrais e Unitários: Parâmetros de Conforto Térmico - ABNT NBR 16 401 – 2: 2008.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2008.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO – ISO. **Ergonomia do ambiente térmico:** Norma 7730.52 páginas,3º ed. 2005.

PADILHA, Anderson Fernando. **Materiais de Engenharia:** Microestruturas e Propriedades. São Paulo. Hemus Editora Ltda, 1997.

PUC RIO. **Polímeros: Introdução e conceitos fundamentais.** 21 páginas. Rio de Janeiro:Arquivo digital PUC Rio, 2004.

PIMENTA, Ana Isabel et al. **Conceito de conforto térmico humano.**26 páginas. Projeto FEUP – Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

RUAS, Álvaro César, **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho.** Edição Única. Campinas: Fundacentro, 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR. **Departamento de Física.** Curitiba: 2017. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/>>. Acesso em: 13/09/2017.

VANWYLEN, Gordon et al. **Fundamentos da termodinâmica clássica.** 4. Ed. São Paulo: Edgard BlücherLtda, 1995.

WANG, Renato R. A. **Cloreto de Polivinil: PVC.**3 páginas. Artigo Acadêmico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2004.

ZAIONCZ, Soraia. **Estudo do Efeito de plastificação interna do PVC quimicamente modificado.** 69 páginas. Dissertação de Mestrado — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2004.