



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FERNANDO REBELLO FIX

MAIK BUSS GOULART

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS:
ÍNDICE DE REFLETÂNCIA SOLAR (SRI) EM TELHAS CERÂMICAS SEMI-GRÊS
E O IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA GERADO ATRAVÉS
DAS CORES DAS TELHAS**

Tubarão

2020

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FERNANDO REBELLO FIX

MAIK BUSS GOULART

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS:
ÍNDICE DE REFLETÂNCIA SOLAR (SRI) EM TELHAS CERÂMICAS SEMI-GRÊS
E O IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA GERADO ATRAVÉS
DAS CORES DAS TELHAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.

Tubarão

2020

FERNANDO REBELLO FIX
MAIK BUSS GOULART

DESEMPENHO EM TELHAS:
ÍNDICE DE REFLETÂNCIA SOLAR (SRI) EM TELHAS CERÂMICAS SEMI-GRÊS
E O IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA GERADO ATRAVÉS
DAS CORES DAS TELHAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 03 de agosto de 2020.

Professora e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Profº. Rennan Medeiros, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng. Rangel Pereira dos Santos, Esp.

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares, amigos e professores que compartilharam seu tempo e conhecimento conosco. Dedicamos também a todos os profissionais que exercem a profissão visando o desenvolvimento de forma sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, sem Ele este projeto não existiria. À nossa família e amigos, que sempre acreditaram em nós, compreenderam nossa dedicação a este trabalho e nos incentivaram em todos os momentos.

Ao professor Rangel Pereira dos Santos pelo apoio, paciência e disponibilidade para orientação na primeira fase deste trabalho, bem como à professora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade pelas orientações durante todo o processo.

Agradecemos também a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

“Escreva algo que valha a pena ler ou faça algo que valha a pena escrever.”
(Benjamin Franklin).

RESUMO

A eficiência energética das edificações vem sendo um tema amplamente abordado atualmente, principalmente referente ao setor residencial, onde houve grande aumento no consumo de energia elétrica nos últimos anos, superando a média de crescimento nacional dos demais setores. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a eficiência térmica de telhas cerâmicas com diferentes cores, através da medição do índice de refletância, relacionando os resultados obtidos com a variação no consumo de energia elétrica causada pelas cores utilizadas nas telhas. A utilização de telhas cerâmicas com tonalidades mais claras tornam as coberturas mais eficientes termicamente, sendo uma das alternativas para reduzir o consumo energético relacionado ao condicionamento ambiental, proporcionando maior conforto térmico aos usuários das edificações. Para quantificar o impacto gerado por esta medida, determinou-se o índice de refletância (SRI) para seis diferentes tonalidades de telhas cerâmicas semi-grês, cujos resultados apontam a quantidade de luz solar refletida e absorvida pela superfície das amostras. Em posse dos índices de refletância de cada tonalidade, realizou-se simulações térmicas com as ferramentas computacionais EnergyPlus™ e OpenStudio® para quantificar o consumo energético necessário para manter o interior da edificação à determinadas temperaturas no período de um ano. Os resultados comparam a relação entre os índices de refletância das seis amostras de telhas cerâmicas e a variação no consumo de energia elétrica para a aplicação de cada uma das amostras em uma edificação residencial de concreto armado com vedação em alvenaria convencional, levando em consideração o clima regional e características termofísicas dos materiais envolvidos na sua concepção. Os dados expostos nos resultados demonstram um retorno financeiro imediato ao utilizar telhas cerâmicas com tonalidades claras em coberturas, com destaque para a cor branca, que obteve os melhores resultados.

Palavras-chave: Índice de refletância. Telhas cerâmicas. Simulação térmica.

ABSTRACT

Currently, the energy efficiency of building has been widely discussed, mainly in the residential sector, where there was a large increase in electricity consumption in the last years, overcoming the national growth average of other sectors. This research has as main goal to analyze the thermal efficiency of ceramic roof tiles with different colors, through reflectance index measurement, relating the results obtained to the variation in electrical energy consumption caused by the colors used in the roof tiles. The use of ceramic roof tiles with lighter shades become the roofs more thermally efficient, being one of the alternatives to reduce energy consumption related to environmental conditioning, providing greater thermal comfort to buildings users. To quantify the impact generated by this measure, the solar reflectance index (SRI) was determined for six different shades of semi-stoneware ceramic roof tiles, whose results indicate the amount of sunlight reflected and absorbed by the samples surfaces. With the reflectance indexes of each shade, thermal simulations were performed with the computational tools EnergyPlus™ and OpenStudio® to quantify the energy consumption necessary to keep the interior of the building to certain temperatures over a year. The results compare the relation between the reflectance indexes of six samples of ceramic roof tiles and the variation in electricity consumption for the application of each of the samples in a residential building made of reinforced concrete with conventional masonry closure, taking into consideration the regional climate and thermophysical characteristics of the materials involved in its design. The data presented in the results, shows an immediate financial return when using ceramic roof tiles with light shades in roofs, with emphasis on the White color, which obtained the best results.

Keywords: Reflectance index. Ceramic roof tiles. Thermal simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação bioclimática do município de Tubarão	25
Figura 2 – Espectro eletromagnético	26
Figura 3 – Tipos de transmissão de calor	28
Figura 4 – Interreflexão provocada por rugosidade.....	36
Figura 5 – Influência linear da rugosidade sobre as refletâncias das amostras	37
Figura 6 – Espectrofotômetro Lambda 750.....	41
Figura 7 – Representação gráfica do modelo arquitetônico no software OpenStudio®	42
Figura 8 – Configurações da telha cerâmica branca no software OpenStudio®.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo anual em kWh para aquecimento e resfriamento.	51
Gráfico 2 – Valor anual em Reais para aquecimento e resfriamento.	51
Gráfico 3 – Consumo anual em kWh para resfriamento.	52
Gráfico 4 – Valor anual em Reais para resfriamento.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica por setor.....	22
Tabela 2 – Consumo de energia no setor residencial e população	23
Tabela 3 – Temperaturas superficiais como função de absorvâncias e emissividades médias de alguns materiais	34
Tabela 4 – Condutividade térmica em materiais de construção	35
Tabela 5 – Refletâncias em amostras lisas e rugosas	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Refletância da telha cerâmica na cor grafite.....	45
Quadro 2 – Refletância da telha cerâmica na cor bordô.....	46
Quadro 3 – Refletância da telha cerâmica na cor caramelo.	46
Quadro 4 – Refletância da telha cerâmica na cor cinza.....	47
Quadro 5 – Refletância da telha cerâmica na cor marfim.	47
Quadro 6 – Refletância da telha cerâmica na cor branca.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ANVISA – Agência de Vigilância Sanitária
BEN – Balanço Energético Nacional
CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina
CUB – Custo Unitário Básico
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Labeee – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR – Normas Técnicas Brasileiras
NREL – Laboratório Nacional de Energias Renováveis
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SRI – Índice de Refletância Solar
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

- (FS_0) fator solar de elementos opacos
- (U) transmitância térmica
- (α) absorptância à radiação solar
- (Rse) resistência superficial externa
- (qcd) fluxo térmico
- (e) espessura da parede
- (θ_e) temperatura da superfície externa da envolvente
- (θ_i) temperatura da superfície interna da envolvente
- (λ) coeficiente e condutibilidade térmica do material
- (q) energia térmica
- (h) coeficiente de transferência de calor por convecção
- (A) área da superfície onde a transferência de calor por convecção ocorre
- (Ts) temperatura da superfície
- (T_∞) temperatura do fluido suficientemente longe da superfície
- (qr) intensidade do fluxo térmico por radiação
- (hr) coeficiente de trocas térmicas por radiação
- (θ) temperatura da superfície da parede considerada
- (θ_r) temperatura radiante relativa às demais superfícies
- (ρ) radiação incidente refletida
- (ϵ) emissividade
- (Rt) resistência térmica total
- (R) resistência do material
- (L) espessura do material

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fator solar	24
Equação 2 - Fator solar para elementos externos	25
Equação 3 - Fator solar limite	25
Equação 4 - Fluxo térmico.....	30
Equação 5 - Lei de resfriamento de Newton	30
Equação 6 - Fluxo térmico por radiação.....	31
Equação 7 - Refletência e absorvência.....	32
Equação 8 - Transmitância térmica	35
Equação 9 - Resistência térmica.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos.....	20
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	21
2.2	NORMAS BRASILEIRAS.....	22
2.2.1	NBR 15220	23
2.2.2	NBR 15575	24
2.3	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO.....	24
2.4	ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E ESPECTRO SOLAR.....	25
2.4.1	Espectro Eletromagnético.....	26
2.4.2	Espectro Solar.....	26
2.5	TRANSMISSÃO DE CALOR	28
2.5.1	Transmissão por condução	29
2.5.2	Transmissão por convecção.....	29
2.5.3	Transmissão por radiação	30
2.6	PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS MATERIAIS	31
2.6.1	Refletância e absorvância.....	31
2.6.2	Calor específico.....	32
2.6.3	Emissividade	32
2.6.4	Transmitância térmica.....	33
2.6.5	Condutividade térmica	34
2.6.6	Resistência.....	35
2.6.7	Rugosidade da superfície	35
2.7	CONFORTO TÉRMICO	38
2.8	COBERTURA	38
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA	40
3.2	AMOSTRAS ANALISADAS	40
3.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	41

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	ENSAIOS DE REFLETÂNCIA	44
4.2	SIMULAÇÕES TÉRMICAS.....	47
4.2.1	Dados de entrada.....	47
4.2.2	Resultados das simulações térmicas	49
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXOS	59
	ANEXO A – PROPRIEDADES FÍSICAS DE MATERIAIS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de uso em uma edificação não se resume apenas em segurança e comodidade, mas também a fatores relacionados a salubridade do ambiente. Uma das qualidades que vem sendo destaque no setor da construção civil é o desempenho térmico das edificações, trazendo consigo novos métodos construtivos a fim de proporcionar maior conforto a seus usuários. As soluções adotadas para alcançar o desempenho térmico desejado devem partir do planejamento até a execução da obra, respeitando as normas técnicas vigentes no Brasil.

Existem à disposição equipamentos de condicionamento de ar muito mais eficientes e econômicos se compararmos a anos anteriores. No entanto, condicionar os ambientes internos de uma edificação com desempenho térmico ineficaz se torna uma tarefa difícil, levando em consideração grande amplitude térmica entre o ambiente interno e externo, dependendo da região onde a edificação está localizada. Projetar e construir edifícios termicamente eficientes proporcionam menor desperdício energético a partir do momento em que o usuário começa a utilizar a edificação, isto é, o uso se torna mais sustentável.

Este estudo verificou a variação de refletância em telhas cerâmicas com algumas tonalidades de cores e o impacto por ela causado no consumo de energia elétrica em uma edificação residencial unifamiliar.

Este trabalho utilizou os softwares EnergyPlus™ e OpenStudio®, desenvolvidos pelo *National Renewable Energy Laboratory* – Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL) em conjunto com o *United States Department of Energy* – Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) para analisar os diferentes cenários criados a partir das diferentes tonalidades de telhas cerâmicas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O aumento populacional no mundo traz consigo centros urbanos cada vez maiores, resultando nos mais diversos tipos de construções e em áreas verdes cada vez menores. Esse evento, aliado à extração desmedida dos recursos naturais e ao consumo energético jamais visto, traz um cenário de grande impacto ambiental, alterando significativamente o clima e os ecossistemas. Diante disso, a sustentabilidade tem como incumbência garantir o crescimento dos municípios sem comprometer os recursos naturais, alicerçado no uso consciente dos materiais e métodos construtivos que produzam menos resíduos.

Proporcionar a seus moradores residências onde haja um conforto térmico adequado é uma das metas a serem atingidas por engenheiros civis e arquitetos. Um dos procedimentos utilizados para melhorar a eficiência térmica das edificações, é diminuindo a absorvância da superfície exposta à radiação solar, consequentemente aumentando sua refletância, principalmente na cobertura, que é o elemento construtivo que está mais exposto à radiação (PERALTA, 2006).

As telhas cerâmicas são os principais materiais utilizados em coberturas no Brasil, entretanto, as normas de telhas existentes não mencionam suas propriedades térmicas. Assim, faz-se necessário determinar o índice de refletância solar (SRI) dos revestimentos cerâmicos para telhados, bem como analisar a variação térmica do ambiente, a fim de mensurar a importância da eficiência térmica dos revestimentos de cobertura.

Os resultados deste estudo visam analisar o conforto térmico oriundo das diferentes cores de telhas cerâmicas, obtendo dados de eficiência energética através dos softwares OpenStudio® e EnergyPlus™, e também determinar a variação de consumo de energia elétrica para cada tonalidade de telha cerâmica.

1.2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência térmica de telhas cerâmicas com diferentes cores, através da medição do índice de refletância (SRI), relacionando os resultados obtidos com a variação no consumo de energia elétrica causada pelas cores utilizadas nas telhas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Efetuar coleta de amostras de telhas cerâmicas para realização de ensaios;
- b) Avaliar as propriedades das telhas cerâmicas;
- c) Analisar os resultados comparativamente;
- d) Medir, por intermédio de ensaio de espectrofotometria, o índice de refletância solar (SRI) das telhas cerâmicas;
- e) Analisar, através dos softwares OpenStudio® e Energy Plus™, a redução de temperatura no ambiente construído.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo abordam-se as referências bibliográficas para melhor compreensão do assunto, tais como os dados de consumo de energia elétrica no Brasil, informações climáticas do país, além das propriedades térmicas dos materiais.

2.1 CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Balanço Energético Nacional (BEN) é um relatório anual elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, com dados relacionados à produção e consumo de todas as fontes de energia no território nacional. Estes dados nos permitem analisar o desenvolvimento energético no Brasil e compreender quais dos setores podem otimizar o uso de energia através de métodos que gerem economia.

O consumo energético no Brasil com base no ano 2017, segundo o BEN (2018), foi de 526,2TWh. Segundo o mesmo relatório, 25,46% (133,98TWh) desta energia foi destinada ao setor residencial. Nove anos atrás, em 2008 o consumo nacional era de 428,25TWh e o setor residencial responsável por 22,32% (95,58TWh), conforme dados da Tabela 1. O setor residencial apresentou aumento de aproximadamente 38,4TWh, ao passo que o consumo nacional foi elevado em aproximados 97,95TWh.

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica por setor

Setores	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Setor Energético	4,3%	4,3%	5,8%	5,0%	5,3%	5,8%	5,9%	6,1%	5,7%	5,6%
Residencial	22,3%	23,6%	23,1%	23,3%	23,6%	24,2%	24,8%	25,0%	25,5%	25,5%
Comercial	14,6%	15,5%	15,0%	15,4%	16,0%	16,4%	17,0%	17,4%	17,1%	17,1%
Público	8,1%	8,3%	8,0%	7,9%	8,0%	8,0%	8,0%	8,3%	8,3%	8,2%
Agropecuário	4,3%	4,2%	4,1%	4,5%	4,7%	4,6%	5,0%	5,1%	5,4%	5,5%
Transportes	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
Industrial	46,1%	43,8%	43,8%	43,5%	42,1%	40,7%	38,9%	37,7%	37,6%	37,7%

Fonte: BEN (2018, p.36). Adaptado.

Os dados apresentados indicam que edificações residenciais e comerciais estão aumentando o consumo de energia. Crescimento que está acima da média dos demais setores e

que está se aproximando da energia consumida pelo setor industrial, que vinha em queda de 2014 a 2016, mas que voltou a crescer em 2017.

Tabela 2 – Consumo de energia no setor residencial e população

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Unidade
Consumo de Eletricidade	95,6	100,6	107,2	112,0	117,6	124,9	132,3	131,0	132,9	134,0	TWh
População Residente	192,5	194,5	196,4	198,3	200,1	201,9	203,6	205,3	206,9	208,4	Milhões de habitantes
Razão Cons./Pop.	0,496	0,517	0,546	0,565	0,588	0,619	0,650	0,638	0,642	0,643	MWh/hab

Fonte: BEN (2018, p.138). Adaptado.

A Tabela 2 apresenta o consumo anual de energia elétrica no setor residencial comparando o número de habitantes no Brasil e o consumo total de energia. Os dados evidenciam um aumento de 40,15% no consumo residencial, muito acima dos 8,26% do aumento populacional nacional nos últimos nove anos. Este aumento significativo do consumo de energia elétrica no Brasil é resultado do desenvolvimento social crescente e da popularização dos condicionadores de ar, sendo este o eletrodoméstico responsável por aproximadamente 20% do consumo de energia elétrica no país, ficando atrás apenas dos chuveiros e geladeiras, de acordo com a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, realizada nos anos de 2004 e 2005 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

2.2 NORMAS BRASILEIRAS

Ao discutir sobre desempenho térmico em edificações é necessário conhecer o tema e as normas vigentes no país. A criação de uma norma sobre o assunto veio sendo discutida durante vários anos, período em que houve diversas pesquisas realizadas pelo Grupo Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a fim de estabelecer parâmetros de classificação de desempenho térmico em edificações (GONÇALVES, 2003).

2.2.1 NBR 15220

No ano de 2003 o Comitê Brasileiro da Construção Civil, liderada pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), foi o responsável pela elaboração e aprovação da NBR 15220: Desempenho Térmico em Edificações. A publicação da norma ocorreu dois anos após sua aprovação.

A NBR 15220 tem como objetivo melhorar o desempenho térmico das edificações, adequando-as aos fatores climáticos de cada região. Esta norma foi elaborada nos padrões ABNT e divide-se em cinco partes (ABNT, 2005). São estas:

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

A segunda parte desta norma define métodos de cálculos das propriedades térmicas dos elementos que compõem as edificações (capacidade térmica, resistência, transmitância, fator solar, etc.), baseado em um regime de calor estacionário.

O fator solar (ou fator de ganho de calor solar) para superfícies opacas se dá pela equação 1:

$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad 1$$

Onde:

FS_0 = fator solar de elementos opacos (%);

U = transmitância ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

α = absorptância à radiação solar (%);

R_{se} = resistência superficial externa ($(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$).

No entanto, para elementos externos como coberturas, deve-se adotar o valor de 0,04 para a resistência superficial externa. Então temos a equação 2:

$$FS_0 = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad 2$$

A próxima equação exposta na parte 2 da NBR 15220 estabelece um limite máximo para o fator solar, o qual é comparado com a absorvância do material exposto à fonte de calor. A equação 3 se dá por:

$$\alpha \leq \frac{FS_0}{(4 \cdot U)} \quad 3$$

A parte 3 da norma expõe recomendações para projetos de edificações unifamiliares, baseando-se nos materiais utilizados e de acordo com o zoneamento bioclimático onde está localizada a edificação, visando otimizar seu desempenho térmico.

Sobre a parte 3 ainda podemos citar que as características termofísicas dos elementos construtivos recebem determinados valores de aceitação de acordo com a sua localização, e em consequência com sua classificação no zoneamento bioclimático.

2.2.2 NBR 15575

A NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais entrou em vigor em 2013, cinco anos após sua divulgação, e estabelece níveis mínimos de desempenho relacionados à segurança, sustentabilidade e habitabilidade ao longo das seis partes que compõem a norma.

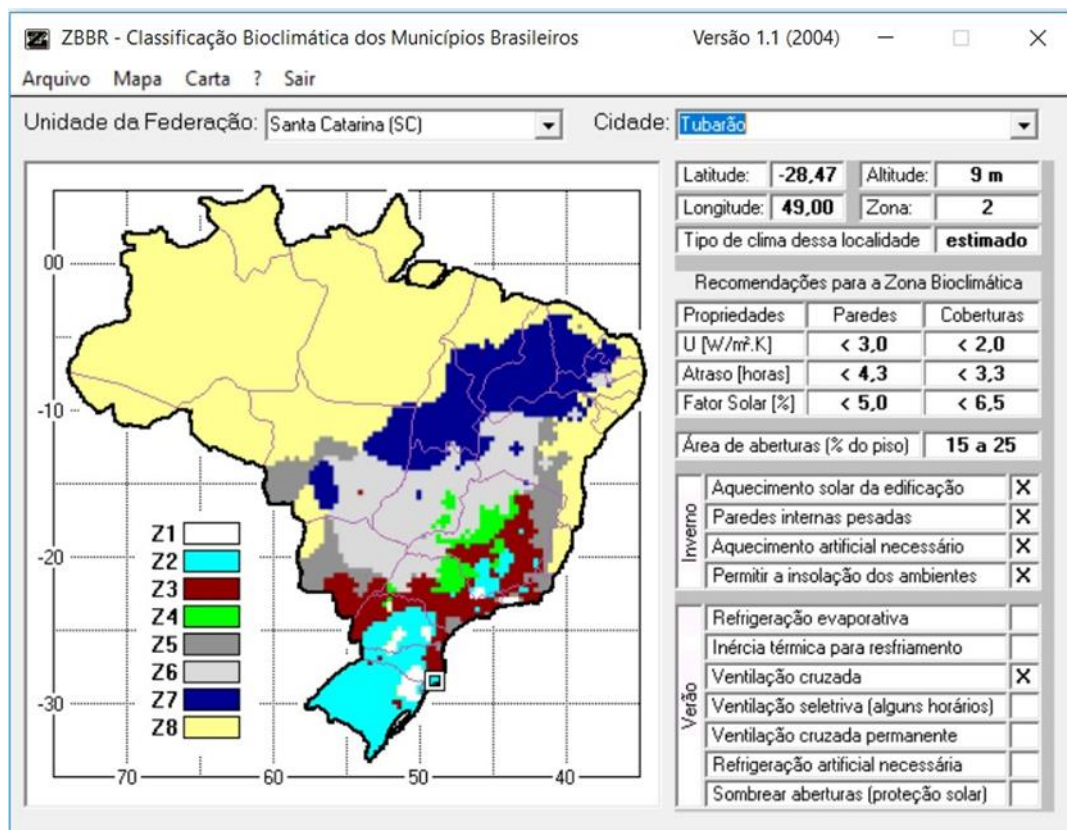
Apesar da NBR 15575 estabelecer métodos de classificação do desempenho térmico das edificações, quando se trata de coberturas a norma se torna incapaz de determinar, pelo método simplificado, em qual nível de desempenho térmico a edificação se enquadra, sendo eles: mínimo, intermediário ou superior. Nestes casos a norma recomenda a utilização dos métodos descritos pelo “Procedimento 1 B – Simulação por software EnergyPlus™” (ABNT, 2013).

2.3 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

O Brasil, em função de sua expressiva expansão territorial, apresenta vários tipos de clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Partindo desta premissa, e de dados coletados ao longo dos anos, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) dividiu o país em oito zonas bioclimáticas de acordo com as médias mensais de temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas e de umidade relativa do ar. Esta classificação tem como objetivo sugerir

estratégias construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, visando alcançar o maior conforto térmico dos usuários. A Figura 1 identifica a zona bioclimática de Tubarão/SC.

Figura 1 – Classificação bioclimática do município de Tubarão



Fonte: LabEEE, UFSCar (2004).

As variáveis climáticas são obtidas através do sol, nuvens, ventos, temperatura, umidade e precipitações. Conseguir projetar edificações que forneçam maior conforto térmico aos usuários, gerando assim menor consumo de energia elétrica, depende da análise e conhecimento destas variáveis (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Portanto, o desempenho térmico de uma edificação é baseado na adequação de sua arquitetura ao clima da região onde está localizada.

2.4 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E ESPECTRO SOLAR

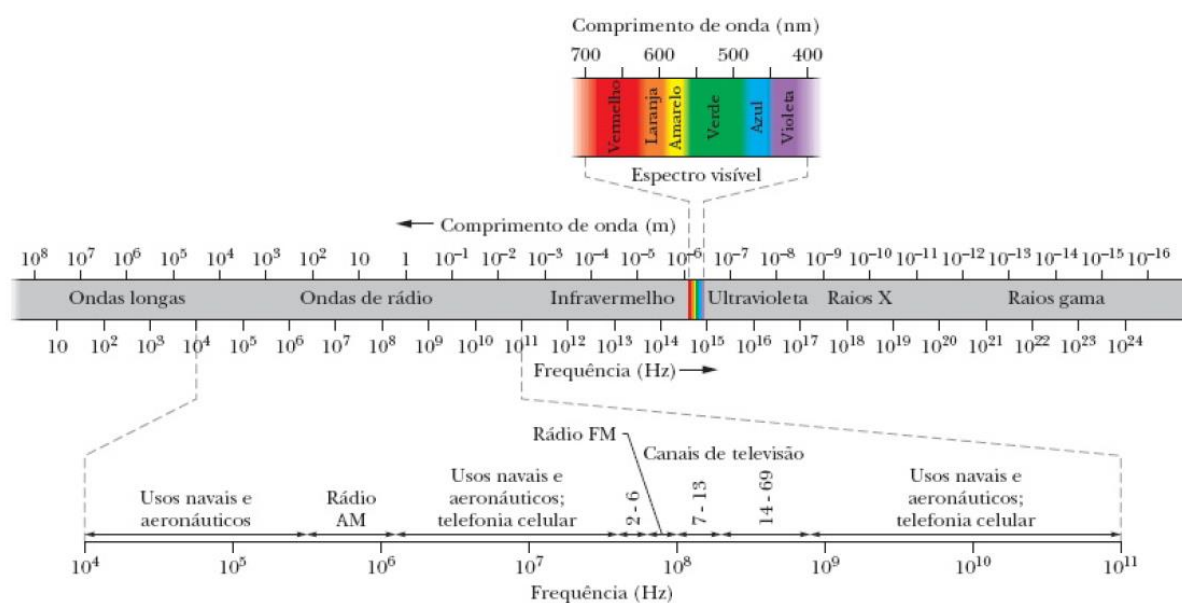
Neste capítulo serão abordados conceitos referentes aos espectros eletromagnético e solar, com ênfase nos aspectos pertinentes a este estudo.

2.4.1 Espectro Eletromagnético

Segundo Schneider (1993), o espectro eletromagnético é o grupo de todas as ondas eletromagnéticas, localizadas de acordo com comprimento de onda e frequência. A luz que pode ser vista pelo olho humano, é uma fração da radiação eletromagnética. Todos os objetos físicos emitem energia eletromagnética de algum tipo, como a energia ultravioleta é emitida pelo sol.

O espectro eletromagnético é dividido em partes com base no comprimento de onda, as ondas mais longas são ondas de rádio, com comprimentos de onda de muitos quilômetros, e as ondas mais curtas são as dos raios gama, que têm comprimentos de onda de 10^{-6} microns ou menos. O alcance do visível consiste em uma pequena porção do espectro, de 0,4 microns (azul) a 0,7 microns (vermelho) (SCHNEIDER, 1993).

Figura 2 – Espectro eletromagnético



Fonte: Halliday, Resnick, Walker (2009).

2.4.2 Espectro Solar

A radiação solar é responsável por aquecer e iluminar a Terra. É uma energia eletromagnética que atinge a Terra após ter uma parte absorvida pela atmosfera. A intensidade da radiação solar varia conforme a latitude do local, a época do ano e a hora do dia, e é responsável por transmitir calor às edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A radiação que se choca com uma superfície, pode ser absorvida, refletida, transmitida ou difundida, porém será totalmente absorvida em uma superfície negra ideal e totalmente refletida em uma superfície refletora ideal. A radiação solar compreende um espectro que varia de 280 a 3000nm, atinge a superfície da Terra após atravessar a atmosfera e é dividida em três regiões, infravermelho, ultravioleta e visível (ROBINSON, 1966).

Estas condições podem ser alteradas conforme propriedades atmosféricas. A radiação solar emitida pelo Sol chega na superfície terrestre com comprimentos de onda que variam de 290 a 1500nm, antes de 290nm a camada de ozônio se encarrega de filtrar e depois de 1500nm estas ondas são absorvidas pelo dióxido de carbono e vapor de água contido na atmosfera (ROBINSON, 1966).

A região infravermelha se encarrega da transferência de calor entre os corpos. Invisível ao olho humano, a radiação infravermelha atua como fonte de calor, interferindo na temperatura no interior do ambiente, através do ganho de calor (CARAM, 1998). Segundo Littlefair (1984), o espectro infravermelho encontra-se entre 780nm e 1mm e está dividido em três partes.

- Infravermelho de ondas curtas – 780 a 1400nm;
- Infravermelho de ondas médias – 1400 a 3000nm;
- Infravermelho de ondas longas – 3000 a 1mm.

De acordo com Littlefair (1984) a região ultravioleta compreende um intervalo entre 100 e 380nm e é subdividida em três partes:

- Ultravioleta A – de 315 a 380nm;
- Ultravioleta B – de 280 a 315nm;
- Ultravioleta C – de 100 a 280nm.

A luz ultravioleta proveniente da luz solar, é retida em boa parte pela camada de ozônio antes de alcançar a Terra, porém seus efeitos nas edificações não podem ser desprezados. A luz ultravioleta tem uma baixa refletância, tendo consequências nos materiais atingidos, como a degradação e descoloração. A absorvância das radiações ultravioleta pode alterar as propriedades da estrutura atômicas dos materiais causando descolorações e a degradações dos mesmos, a parte do espectro que atinge o desbotamento está entre 300nm e 400nm acima de 400nm e abaixo de 300nm também causa desbotamento no visível, mas com a intensidade baixa (CARAM et al, 1995).

A região visível está situada entre 380 e 780nm, causando a visão e a definição das cores, assim definimos luz branca como a região que contém todos os comprimentos de onda da fração visível do espectro eletromagnético. Falando em conforto, é necessário que essa radiação atravesse as estruturas, assim podendo ser projetadas para melhor atender as necessidades humanas evitando um gasto com energia elétrica (CARAM et al, 1995).

2.5 TRANSMISSÃO DE CALOR

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 197), “Em um fechamento opaco a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior.”

A Figura 3 ilustra os três tipos de transmissão de calor que serão abordados nos tópicos seguintes.

Figura 3 – Tipos de transmissão de calor



Fonte: Watanabe, Roberto Massaru (2012).

2.5.1 Transmissão por condução

A transmissão por condução ocorre em meios sólidos, e é um processo no qual ocorre a transferência de calor ao longo de um meio material, sendo necessário o contato com a vibração ou choque das partículas, transferindo energia da partícula mais energética de uma substância para as partículas vizinhas menos energéticas. A condução é a passagem de calor de um ponto para outro de um mesmo corpo, ou de corpos diferentes que estão em contato (ÇENCEL e GHAJAR, 2012).

Segundo Frota e Schiffer (2001), a intensidade do fluxo térmico por condução nesse mecanismo de troca é expressa pela equação 4:

$$q_{cd} = \lambda \cdot e \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad 4$$

Onde:

q_{cd} = fluxo térmico (W/m^2);

e = espessura da parede (m);

θ_e = temperatura da superfície externa da envolvente ($^{\circ}C$);

θ_i = temperatura da superfície interna da envolvente ($^{\circ}C$);

λ = coeficiente de condutibilidade térmica do material ($W/m^{\circ}C$).

2.5.2 Transmissão por convecção

Convecção é um tipo de transferência de calor entre superfície sólida e líquida ou gasosa, que transfere calor de um lado para outro através do movimento de fluidos ou gases. Quando não houver movimento de massa de fluido, a transferência de calor entre a superfície sólida e o fluido adjacentes se dá por pura condução. Algumas pessoas não consideram a convecção um mecanismo fundamental na transferência de calor uma vez que é essencial ao movimento do fluido para a condução de calor (ÇENCEL; GHAJAR, 2012).

Segundo Çencel e Ghajar (2012), quão mais rápido for o movimento dos fluidos maior será a transferência de calor por convecção. A lei do resfriamento de Newton, constata que a diferença de temperatura está diretamente ligada a taxa de transferência de calor. A equação 5 é dada por:

$$q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad 5$$

Onde:

q = energia térmica (J);

h = coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{k}$);

A_s = área da superfície onde a transferência de calor por convecção ocorre (m^2);

T_s = temperatura da superfície (K);

T_∞ = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (K).

De acordo com Givoni (1998), a convecção pode ser de dois tipos, a natural e a forçada. A natural que é causada pela diferença de temperatura, e ocorre quando o ar encosta em uma superfície mais quente se expande e sobe, e quando encosta em uma superfície mais fria fica mais denso e desce.

2.5.3 Transmissão por radiação

A principal fonte de energia para o planeta é a radiação solar. Por ser um emissor de luz e calor, o Sol é um elemento de suma importância no estudo da eficiência energética. Para proporcionar um melhor desempenho térmico à edificação, é necessário que o projetista trate os dois fatores (luz e calor) com a mesma importância, compreendendo os fenômenos térmicos e visuais em uma edificação, bem como suas variáveis climáticas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Radiação: Mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que guardam entre si uma distância qualquer — através de sua capacidade de emitir e absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 33).

Durante a transferência de calor, a energia é conduzida pelas ondas eletromagnéticas que o objeto emite, chamada de radiação térmica, possibilitando assim, a troca de calor sem que haja necessidade de contato entre os materiais (PERALTA, 2006).

Segundo Frota e Schiffer (2001), a equação 6 representa o fluxo de calor presente nesse processo de troca:

$$q_r = h_r(\theta - \theta_r) \quad 6$$

Onde:

q_r = intensidade do fluxo térmico por radiação (W/m^2).

h_r = coeficiente de trocas térmicas por radiação ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$).

θ = temperatura da superfície da parede considerada (°C)

θ_r = temperatura radiante relativa às demais superfícies (°C).

2.6 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS MATERIAIS

Este tópico aborda os fatores termofísicos dos materiais, isso é, os valores característicos determinantes na variação de transferência de calor.

2.6.1 Refletância e absorptância

Segundo Incropera e Dewitt (1990), refletância é a parcela da radiação incidente refletida pela superfície do material, já a absorptância indica a fração de radiação absorvida pelo material. Portanto, refletância e absorptância são inversamente proporcionais. A equação 7 define estas propriedades:

$$\alpha + \rho = 1 \quad 7$$

Onde:

α : radiação incidente absorvida;

ρ : radiação incidente refletida.

O método mais preciso para a obtenção do índice de refletância (SRI) de um material, é realizado com auxílio de um espectrofotômetro, onde são emitidas radiações monocromáticas, registrando, para cada onda das regiões do espectro solar (280 a 3000nm), a quantidade de radiação refletida pela superfície do material (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007). Este ensaio terá seu procedimento detalhado no decorrer deste estudo.

Dentre os fatores que podem influenciar nos resultados do ensaio de refletância, podemos destacar a cor da superfície, a rugosidade e a ondulação do material como os principais atores. As tabelas de refletância atualmente disponíveis para análise contém resultados vagos, focando majoritariamente na influência das cores, ignorando a rugosidade e a ondulação dos materiais analisados (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007).

2.6.2 Calor específico

O calor específico (c), ou capacidade calorífica de um material, é medido através da quantidade de calor necessária para elevar a temperatura deste material em uma unidade de temperatura por uma unidade de sua massa (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Calor específico é a energia necessária para elevar a temperatura em um grau de uma unidade de massa de uma substância por meio de um processo específico (ÇENÇEL; GHAJAR, 2012, p. 7).

Segundo Rivero (1985), o calor específico é uma das propriedades que determinam o comportamento térmico de um fechamento opaco, juntamente com a absorptância, emissividade, condutividade térmica e a espessura do material.

A NBR 15220 (ABNT, 2005), traz em seu Anexo B, na tabela B.3, valores de calor específico para diversos materiais de construção. Estes valores foram utilizados para a configuração do software EnergyPlus™ para a realização das simulações térmicas deste estudo. A tabela extraída da NBR 15220 encontra-se no Anexo A deste trabalho.

2.6.3 Emissividade

A emissividade (ϵ) determina a capacidade de um objeto emitir radiação em ondas longas. Emissividade de um corpo pode ter o seu valor nulo (zero), quando tratamos de um espelho, e atingir o valor 1,0 quando for um corpo negro (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007).

“É a propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica que é emitida por unidade de tempo. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor.” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 209)

Na tabela 3 são apresentadas as temperaturas superficiais como função de absorptâncias e emissividades médias de alguns materiais.

Tabela 3 – Temperaturas superficiais como função de absorvâncias e emissividades médias de alguns materiais

Materiais	Absortância (α)	Emissividade (ϵ)	α/ϵ	Temperatura Superficial (°C)
Sulfato de bário com álcool poliv.	0,06	0,88	0,07	37,6
Alumínio polido	0,05	0,05	1,0	40,9
Reboco	0,45	0,90	0,5	55,0
Aço inoxidável polido	0,42	0,11	3,82	69,0
Tijolo aparente	0,70	0,90	0,78	70,3
Concreto aparente	0,75	0,90	0,83	72,9
Telha de barro	0,80	0,90	0,89	75,5
Asfalto	0,95	0,95	1,0	82,3
Caiação nova (Tinta)	0,15	0,90	0,17	42,2
Branco, base óxido de titânio (Tinta)	0,20	0,90	0,22	44,7
Aluminizado brilhante (Tinta)	0,30	0,31	0,97	56,5
Aluminizado, base epóxi (Tinta)	0,77	0,81	0,95	75,4
Negro, base carbono (Tinta)	0,96	0,88	1,09	84,0

Fonte: Roriz, Dornelles e Roriz (2007). Adaptado.

Os dados expostos na Tabela 3 mostram que as temperaturas superficiais dos materiais aumentam proporcionalmente às suas absorvâncias, levando em consideração o calor específico de cada material. Os valores de emissividade indicam a quantidade de calor que cada amostra pode emitir com base em sua temperatura superficial.

2.6.4 Transmitância térmica

A transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de superfícies opacas. Através desta variável se pode avaliar o comportamento de uma superfície opaca durante o processo de transmissão de calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), “a transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total.” Ou seja, quanto maior a resistência térmica de uma parede, menor será sua transmitância. Unidade é dada em $W/m^2.K$.

A transmitância térmica pode ser calculada pela equação 8:

$$U = \frac{1}{Rt} \quad 8$$

Onde:

U = transmitância térmica ($W/m^2.K$);

Rt = resistência térmica total (m^2K/W).

2.6.5 Condutividade térmica

A condutividade térmica (λ) determina a capacidade de um material em transferir calor, e leva em consideração a densidade do material. Isto é, representa a capacidade de um material de conduzir uma quantidade de calor em um determinado espaço de tempo. É representada pela unidade $W/m.K$ (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

De acordo com Frota e Schiffer (2001, p. 35), “O coeficiente λ varia com a temperatura, porém, para as faixas de temperatura correntes na construção, pode ser considerado como uma característica de cada material”.

Incropera et al (2008, p. 39) pondera que “Em geral, a condutividade térmica de um sólido é maior do que a de um líquido, que por sua vez, é maior do que a de um gás. Essa tendência se deve, em grande parte, à diferença no espaçamento intermolecular nos dois estados”.

A tabela 4 apresenta os dados relativos ao coeficiente de condutibilidade térmica de alguns materiais de construção, representados por valores médios.

Tabela 4 – Condutividade térmica em materiais de construção

Material	λ (W/m.K)
Concreto normal, densidade de 2.200 a 2.400 kg/m^3	1,750
Tijolo de barro, densidade de 1.000 a 1.300 kg/m^3	0,700
Madeira, densidade de 450 a 600 kg/m^3	0,150
Isopor, densidade de 25 a 40 kg/m^3	0,035

Fonte: Lamberts, Dutra, Pereira, (2014, p. 210). Adaptado.

A tabela mostra que quanto mais denso é o material, maior capacidade de transferir calor ele possui.

2.6.6 Resistência

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), resistência térmica (R) é a propriedade que um determinado material tem para resistir a transferência de calor. A resistência está diretamente ligada à espessura do material, quanto mais espesso, mais resistente à passagem de calor. A condutividade térmica (λ) de um material é inversamente proporcional à sua resistência, ou seja, quanto maior a condutividade, maior será a quantidade de calor transferido e consequentemente, menor será sua resistência térmica.

O fluxo de calor para o interior do edifício diminui conforme a capacidade térmica de sua estrutura aumenta. Quando a espessura da parede é aumentada, a fim de se elevar a capacidade térmica, a resistência térmica total aumenta proporcionalmente, assim, o efeito térmico é muito maior. A amplitude de temperatura interna varia como uma função exponencial da espessura da parede, e, consequentemente a temperatura máxima deveria diminuir, a mínima aumentar exponencialmente com o aumento da espessura. Na prática, o efeito quantitativo da espessura na temperatura superficial interna e na temperatura do ar também depende da ventilação e da cor externa (GIVONI, 1981).

A equação 9 determina a resistência térmica:

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad 9$$

Onde:

R = resistência do material ($\text{m}^2\text{K/W}$);

L = espessura do material (m);

λ = condutividade térmica dos materiais (W/m.K).

A equação acima calcula a resistência térmica de um material homogêneo. No caso de um material heterogêneo, a resistência deve ser calculada pela soma dos componentes presente no material (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

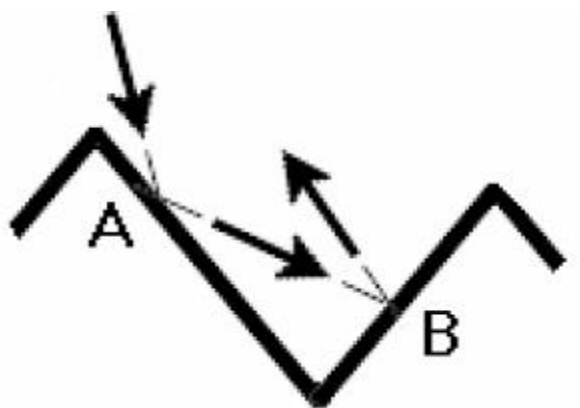
2.6.7 Rugosidade da superfície

A rugosidade da superfície exposta à radiação solar, em conjunto com a cor da superfície do elemento e o clima regional, é um dos critérios que determinam a refletância de

um material. Isto é, para alcançar o desempenho térmico desejado na edificação deve-se considerar estas variáveis desde a concepção do projeto arquitetônico e tomar as medidas cabíveis a fim de atingir os resultados esperados (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007).

De acordo com Roriz, Dornelles e Roriz (2007), os materiais de construção civil, em sua maioria, possuem irregularidades geométricas com diferentes alturas e distâncias de vales e picos ao longo da superfície, ou seja, são materiais rugosos. A Figura 4 mostra, de forma simplificada, o comportamento de uma superfície rugosa ao receber radiação solar.

Figura 4 – Interreflexão provocada por rugosidade



Fonte: Roriz, Dornelles e Roriz (2007).

A NBR 6405 (ABNT, 1988), estabelece procedimentos para a determinação da rugosidade de uma superfície através de cálculos matemáticos com base na diferença de nível médio entre o vale mais baixo e o pico mais alto encontrado na superfície do material.

Na atualidade, o método mais preciso para quantificar o nível de absorvância de uma superfície, independente de sua rugosidade, é através de um espectrofotômetro. Este aparelho mede a refletância do material com base na radiação emitida e quantifica a radiação refletida pela amostra (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007). A fim de compreender o impacto da rugosidade no índice de refletância, Dornelles (2006) utilizou um espectrofotômetro para medir a refletância em amostras lisas e rugosas, pintadas com tintas de diferentes absorvâncias. Os resultados estão expostos na Tabela 5 e na Figura 5.

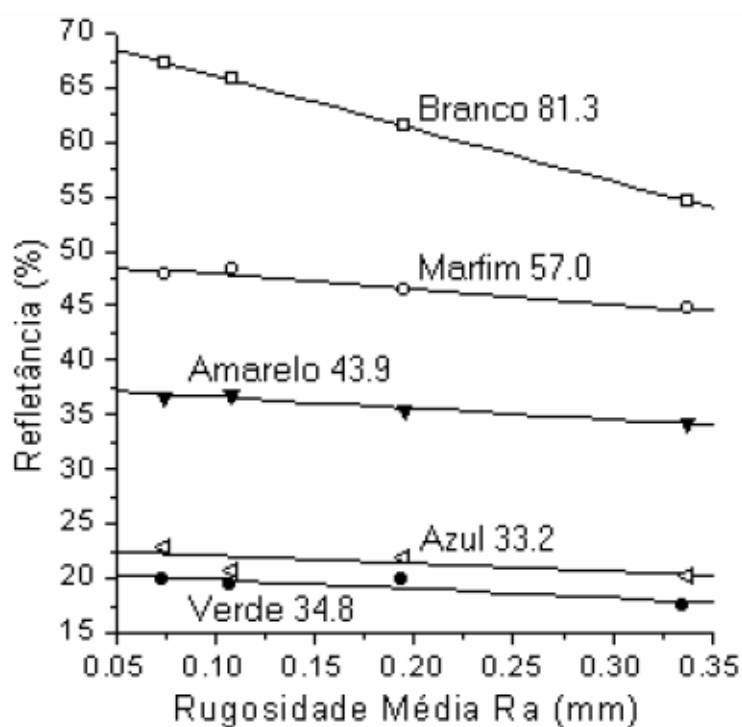
Tabela 5 – Refletâncias em amostras lisas e rugosas

Tintas aplicadas sobre as amostras		Refletância (%) para diversas rugosidades (Ra em mm)				
Tipo de tinta	Nome comercial	Lisa	0,074	0,108	0,195	0,338
Latex PVA	Branco	81,3	67,2	65,8	61,6	54,5
Acrílica Fosca	Marfim	57,0	47,9	48,3	46,3	44,7
Acrílica Fosca	Amarelo Antigo	43,9	36,7	36,9	35,5	34,2
Acrílica Semi-Brilho	Verde Quadra	34,8	19,9	19,5	20,4	17,5
Acrílica Fosca	Azul	33,2	22,9	20,8	22,0	22,2

Fonte: Dornelles (2006). Adaptado.

Com base nos dados expostos na Tabela 5, foi possível constatar a linearidade das refletâncias em relação à rugosidade dos materiais analisados. A Figura 5 traz esta relação graficamente.

Figura 5 – Influência linear da rugosidade sobre as refletâncias das amostras



Fonte: Dornelles (2006).

Os resultados apresentados na Tabela 5 e Figura 5 apontam que as refletâncias das amostras reduzem linearmente conforme o aumento na rugosidade, confirmando que o controle da rugosidade é de suma importância em relação ao desempenho térmico das edificações.

2.7 CONFORTO TÉRMICO

Segundo Ashrae (2013), conforto térmico é o grau de satisfação pessoal relacionado à temperatura do ambiente em que o sujeito está inserido. “Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico” (ASHRAE, 2013, p. 37).

Rosa (1984), determinou que o principal motivo para o desconforto térmico dentro das edificações é a alta temperatura no lado inferior das telhas. O conforto térmico está diretamente ligado com o calor que chega ao ambiente através da parcela de radiação absorvida pelo material (DOMINGUEZ et al, 1992). Alcançar um desempenho térmico eficiente é um dos principais objetivos dos projetistas contemporâneos, sendo esta característica de suma importância tanto para o bem-estar quanto para a produtividade dos usuários.

Nos dias de hoje gasta-se muito com condicionamento de ar para se conseguir uma temperatura confortável ao usuário no interior das edificações, e isto está relacionado com o clima no qual a edificação está inserida. No entanto, é possível minimizar este gasto utilizando materiais com maior índice de refletância, com o objetivo de reduzir a quantidade de calor absorvido (JAHNKE et al., 2006).

O ganho de calor através de superfícies opacas devido à radiação solar exerce grande influência nas condições de conforto térmico do ambiente interno (SEKER; TAVIL, 1996). Portanto, analisaremos neste estudo qual a influência que as cores implantadas nas telhas cerâmicas terão sobre a refletância do material à radiação solar.

2.8 COBERTURA

As coberturas das edificações, bem como todos os elementos de vedação, têm como função proteger usuários e a própria edificação das intempéries climáticas (radiação solar, umidade, temperatura, etc.). Para esta proteção ocorrer de maneira eficaz, deve-se conhecer as características e propriedades térmicas dos materiais, visando inclusive, proporcionar o desempenho térmico desejado, estanqueidade, entre outros (PERALTA, 2006).

Dominguez et al (1992, p. 55) mencionaram os três fatores que devem ser considerados simultaneamente:

- “Controle solar (quantidade de sombra produzida e adequação da forma à superfície ocupada)”;

- “Parcela de radiação que atravessa a cobertura em relação ao total que incide sobre ela (o que depende do tipo de cobertura e dos materiais utilizados)”;
- “A quantidade de calor absorvido e dissipado pela cobertura (o que depende do tipo de cobertura, da forma e da cor da superfície)”.

Entre os componentes de coberturas utilizados atualmente, a telha é o que mais afeta o desempenho térmico da edificação, devido às suas propriedades termofísicas e à grande exposição à radiação solar na qual as coberturas estão sujeitas (PERALTA, 2006).

De posse destes conhecimentos e a fim de atender os requisitos de desempenho, o presente trabalho apresenta dados referentes ao desempenho térmico e de economia de energia elétrica pelo uso de telhas cerâmicas de diferentes cores, com base nos índices de refletância medidos através de espectrofotometria e com auxílio de ferramentas computacionais como o OpenStudio® e Energy Plus™.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será detalhada a metodologia utilizada neste estudo, cujos procedimentos foram utilizados a fim de alcançar os objetivos propostos.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Com o anseio de proporcionar ambientes cada vez mais confortáveis termicamente, e conseqüentemente mais sustentáveis, este estudo tem como foco a economia de energia elétrica baseado nas cores das telhas. Para tanto, neste estudo utilizaremos a pesquisa qualitativa como método de abordagem.

[...] se desenvolve numa situação natural, é rico em dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto, se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes, tem um plano aberto e flexível e focaliza a realidade de forma complexa e contextualizada (ARAÚJO; OLIVEIRA, 1997, p. 11).

Os estudos qualitativos visam fornecer conhecimento sobre diversos temas em diferentes áreas, sob fundamentos teóricos e permitem aos autores readequações no processo de pesquisa caso seja necessário.

Tendo em vista que os autores não possuem grande conhecimento prévio sobre o tema, e que não há um vasto referencial teórico sobre o assunto abordado neste estudo, a pesquisa será de caráter exploratório.

São desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral de tipo aproximativo acerca de determinado fato. Esse tipo de pesquisa é realizada quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionáveis. (GIL, 1999, p. 43).

A pesquisa qualitativa de nível exploratório permite aos autores aquisição de conhecimento sobre o referido tema, seguindo sempre a orientação teórico-metodológica, com o objetivo de coletar e analisar com fidelidade os dados obtidos.

3.2 AMOSTRAS ANALISADAS

Para analisar a refletância no espectrofotômetro, foram selecionadas seis cores de telhas cerâmicas do modelo “Wave”, produzidas pela empresa Cejatel Revestimentos Cerâmicos, conforme a relação abaixo:

- a) Telha Bordô;

- b) Telha Branca;
- c) Telha Caramelo;
- d) Telha Cinza;
- e) Telha Grafite;
- f) Telha Marfim.

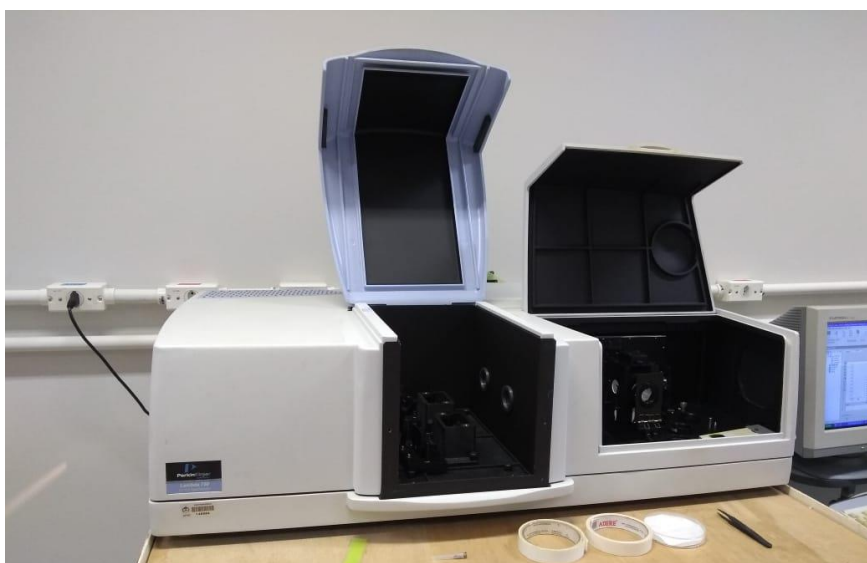
Além da refletância, foram utilizadas outras propriedades termofísicas das amostras, que foram utilizadas para alimentar o software EnergyPlus™. Estes dados são oriundos das normas relacionadas ao desempenho térmico das edificações, mencionadas anteriormente neste trabalho.

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O presente estudo visa quantificar uma possível economia de energia elétrica em virtude das diferentes cores de telhas utilizadas na cobertura de uma edificação residencial. Para permitir que este trabalho obtenha resultados satisfatórios que condigam com a realidade, foi necessário utilizar dois ensaios diferentes a fim de coletar os dados pertinentes.

A primeira etapa consistiu na medição do índice de refletância solar (SRI) das diferentes amostras de telhas cerâmicas, que foi realizada na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) através do espectrofotômetro Lambda 750, da marca Perkin Elmer, o qual quantificou a luz absorvida e refletida pelas amostras com o auxílio da esfera integradora de 60 mm de diâmetro, localizada no compartimento refletivo do espectrofotômetro.

Figura 6 – Espectrofotômetro Lambda 750



Fonte: Autores, 2020.

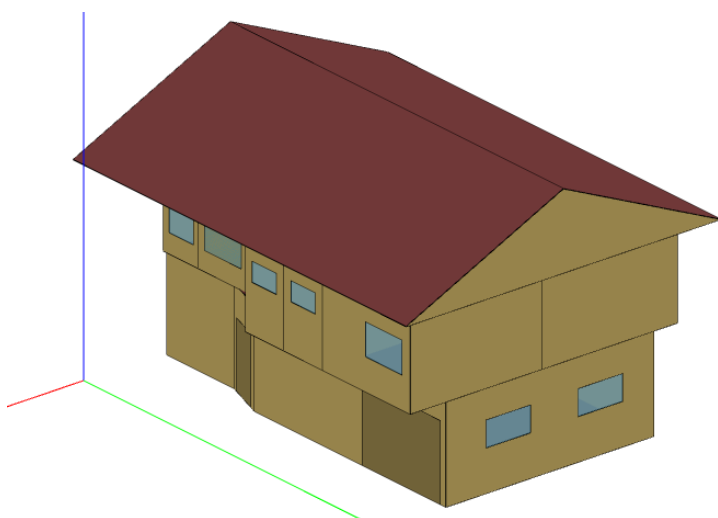
As amostras foram ensaiadas no intervalo de 300 a 2500 nm, conforme estabelece a norma ASHRAE 74-1988 (ASHRAE, 1988). Para obtermos melhor entendimento sobre o comportamento das amostras, dividiu-se o intervalo em três regiões do espectro solar, ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 2500 nm).

As seis diferentes cores de telhas ensaiadas foram fragmentadas em frações com área de aproximadamente 1 cm², dimensão que é compatível com o aparelho. O espectrofotômetro foi calibrado usando duas amostras de referência, uma branca e uma preta, com refletâncias de 2% e 99%, respectivamente. Estes dados referenciais foram utilizados como parâmetros para determinar as refletâncias das amostras das telhas.

A segunda etapa deste estudo teve como objetivo mensurar o consumo de energia elétrica de acordo com os dados obtidos nos ensaios no espectrofotômetro para as diferentes cores de telhas. Para isso, foi inserido um modelo arquitetônico computacional no software OpenStudio®, juntamente com as características físicas das telhas, como rugosidade, calor específico, condutividade térmica, densidade, espessura e absorvância alimentadas na ferramenta Energy Plus™. Os dados de absorvância das telhas cerâmicas, como antes mencionado, foram obtidos através de ensaio espectrofotométrico.

O projeto utilizado consiste em uma residência unifamiliar de dois pavimentos, com área total construída de 197m², composta por três dormitórios, sendo uma suíte, sala de estar, banheiro social, sala de jantar conjugada com a cozinha e garagem (MAHL; LOPES, 2018).

Figura 7 – Representação gráfica do modelo arquitetônico no software OpenStudio®



Fonte: Mahl e Lopes (2018).

Em posse de todos os dados necessários, os resultados relacionados à energia elétrica consumida para a climatização da edificação foram obtidos por meio do software Energy Plus™, o qual simulou as cargas térmicas analisando a interferência dos dados de refletância de cada cor de telha cerâmica ensaiada e quantificou as possíveis economias no consumo energético nos diferentes cenários criados.

Para que a simulação exponha a realidade, foi necessário configurar o programa com diversos aspectos referentes à construção, como os materiais utilizados, bem como suas propriedades físicas e térmicas que serão detalhadas no decorrer desse trabalho, além do clima regional onde está localizada a residência. Outras configurações, como determinar para qual finalidade seria usado cada cômodo, *schedules* e definir as zonas térmicas da edificação também foram necessárias.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através dos parâmetros estabelecidos pela NBR 15220 (ABNT 2005), fornece os dados climáticos de diversas cidades do Brasil de acordo com a sua respectiva Zona Bioclimática. A cidade de Tubarão/SC não possui estação do INMET, por este motivo optamos em utilizar os dados provenientes da estação de Araranguá/SC.

Em conjunto com os ensaios das telhas em laboratório e com a simulação térmica da edificação com o Energy Plus™, elaboramos um demonstrativo de variação de consumo de energia elétrica, facilitando a visualização das vantagens e desvantagens entre os resultados de cada amostra. Consequentemente, avaliamos comparativamente os custos de operação para manter a edificação climatizada, durante o período de um ano.

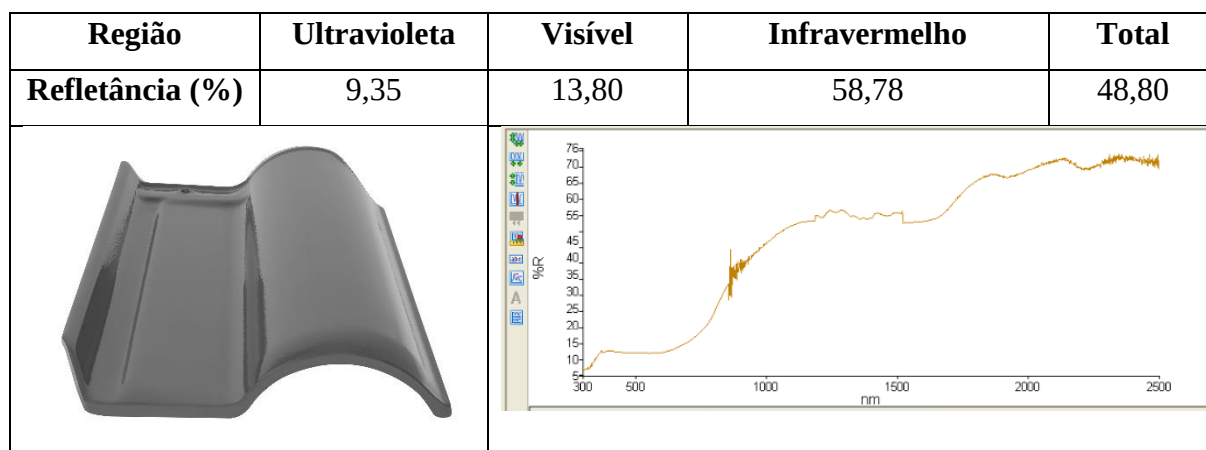
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de refletância das amostras, bem como os resultados das simulações térmicas realizadas no Energy Plus™. Salienta-se que os resultados foram analisados comparativamente entre as diferentes cores de telhas cerâmicas. Deste modo, foi possível determinar qual produto analisado é o mais adequado para telhados, não só em relação ao seu desempenho térmico e custo benefício, mas também pôde contribuir nas questões de sustentabilidade e técnico-científicas.

4.1 ENSAIOS DE REFLETÂNCIA

Este tópico apresenta a compilação dos dados referentes à refletância das telhas cerâmicas analisadas. Além dos valores numéricos de refletância para cada região do espectro solar e do total, os quadros a seguir informam através de gráficos o comportamento das amostras diante da variação no comprimento de onda. Para melhor visualização dos resultados, a sequência vai da amostra com menor índice de refletância, até a amostra que possui maior refletância.

Quadro 1 – Refletância da telha cerâmica na cor grafite

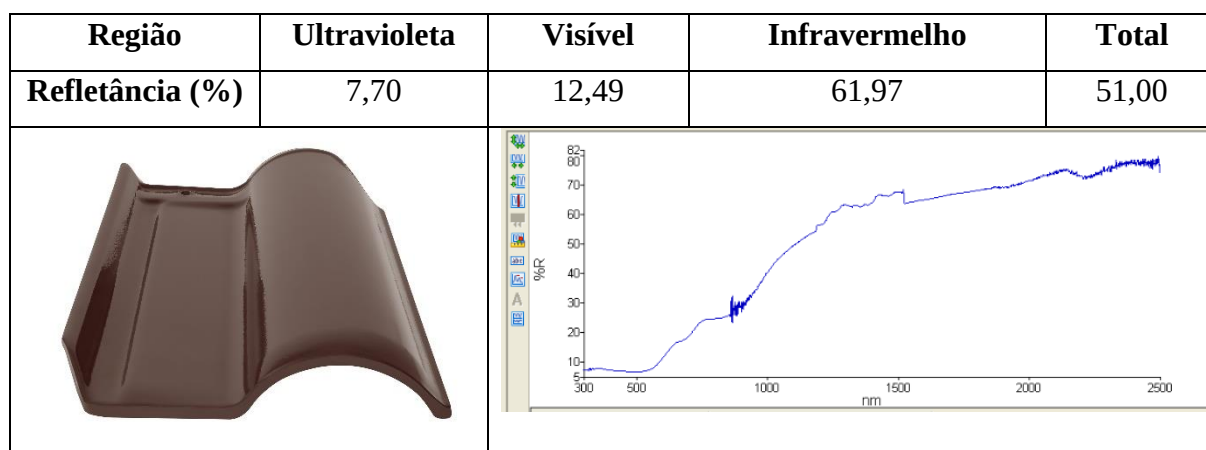


Fonte: Autores, 2020.

A primeira amostra de telha cerâmica analisada é a de cor grafite, cuja refletância total foi de apenas 48,80%. Ou seja, quando exposta a radiação solar esta amostra absorve mais da metade da luz que toca sua superfície. Por ser a primeira cor analisada, os valores obtidos foram adotados como base para comparação com as outras cores ensaiadas, isto é, admitiu-se a absorvância da telha grafite igual a 100%, facilitando posteriormente o entendimento da relação entre os resultados de consumo de energia elétrica.

É pertinente mencionar que a soma entre refletância e absortância é igual a um. Sendo assim, os valores de absortância utilizados nas comparações entre os resultados das amostras e posteriormente para alimentar o software OpenStudio®, é resultado da diferença entre um e a refletância de cada amostra.

Quadro 2 – Refletância da telha cerâmica na cor bordô

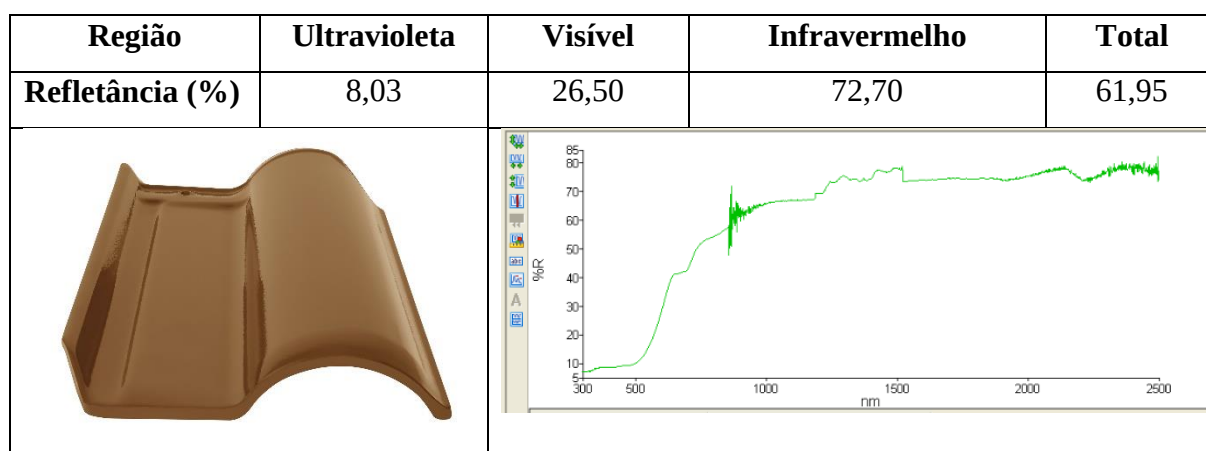


Fonte: Autores, 2020.

A telha bordô obteve resultados semelhantes à telha grafite, porém conseguiu alcançar 51% de refletância, pois seu desempenho na região infravermelha do espectro solar foi um pouco superior à amostra anterior.

Reforçamos que para compararmos os resultados, usaremos a cor grafite como base, que para efeito de cálculo terá sua absortância igualada a 100%. Desta forma, podemos afirmar que a cor bordô absorveu 4,3% menos luz se comparada a amostra de cor grafite.

Quadro 3 – Refletância da telha cerâmica na cor caramelo

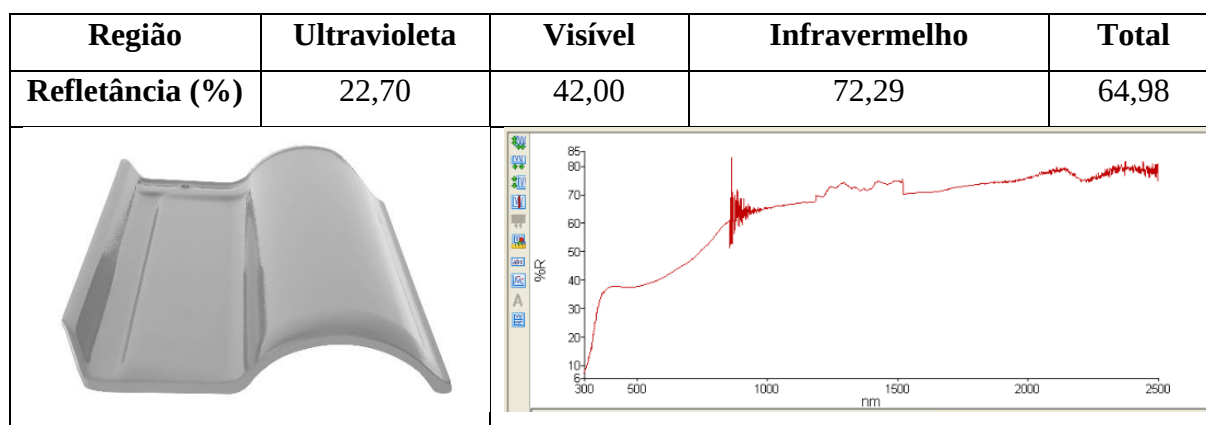


Fonte: Autores, 2020.

A terceira cor analisada apresentou resultados muito superiores nas regiões visível e infravermelha do espectro solar, resultando em uma refletância total de 61,95%. Sendo assim, a telha de cor caramelo absorveu 25,68% menos luz do que a amostra de cor grafite.

Percebemos nesta amostra um grande salto no índice de refletância em relação às duas primeiras telhas. Esse fato pode ser consequência da diferença de tonalidade entre a telha caramelo e as amostras anteriores. As imagens obtidas no catálogo de produtos da Cejatel não mostram com clareza esta diferença, mas podemos afirmar que as telhas grafite e bordô são visivelmente mais escuras se comparadas à telha caramelo.

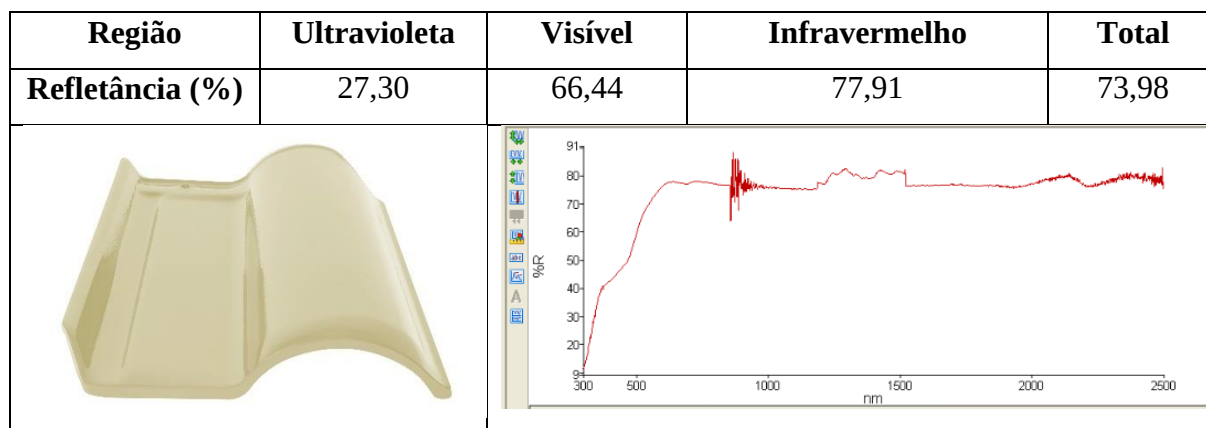
Quadro 4 – Refletância da telha cerâmica na cor cinza



Fonte: Autores, 2020.

Com uma refletância total de 64,98%, a telha cinza obteve resultados muito superiores nas regiões ultravioleta e visível do espectro solar. Todavia, a região infravermelha representa aproximadamente 78,2% no espectro solar, fazendo com que sua refletância total permaneça próxima ao índice total da telha de cor caramelo. A diferença entre a telha cerâmica cinza e a grafite é de 31,60%.

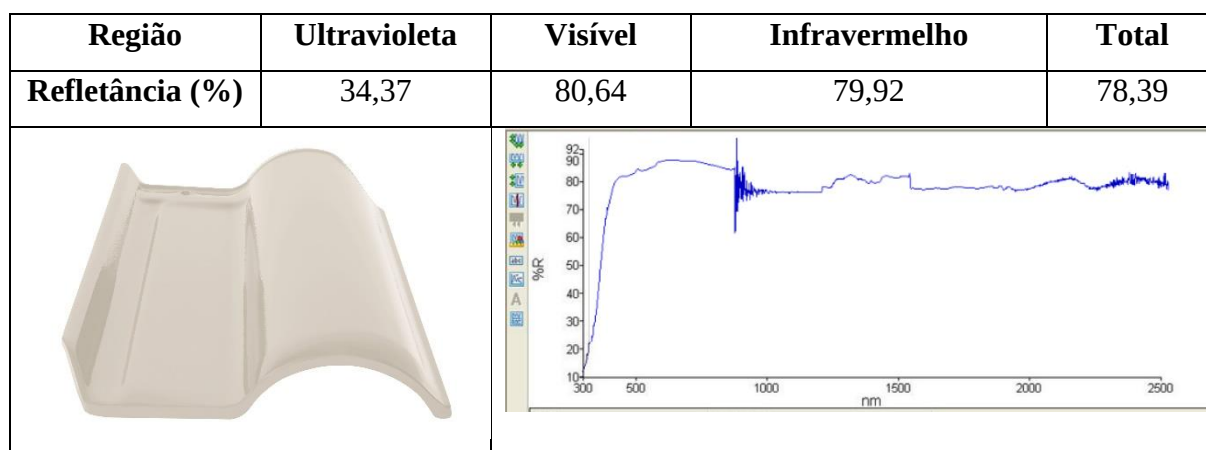
Quadro 5 – Refletância da telha cerâmica na cor marfim



Fonte: Autores, 2020.

Podemos observar novamente um salto no índice total de refletância. A cor marfim mostrou boa refletância nas três regiões, com destaque para a visível e a infravermelha. Com um total de 73,98% de refletância, a telha cerâmica marfim absorveu 50,82% se comparada com a cor base, a amostra grafite.

Quadro 6 – Refletância da telha cerâmica na cor branca



Fonte: Autores, 2020.

Por fim chegamos à última amostra ensaiada, a telha cerâmica de cor branca. Esta amostra apresentou resultado na região infravermelha próximo ao da telha de cor marfim, porém, as regiões ultravioleta e visível se destacaram e elevaram o índice total de refletância da telha branca para 78,39%. Isto é, ela absorveu 57,79% da luz absorvida pela amostra grafite.

4.2 SIMULAÇÕES TÉRMICAS

Neste item serão expostos dados referentes à configuração do software OpenStudio® com base no modelo arquitetônico criado, bem como todos os resultados obtidos após realizadas as simulações térmicas no software Energy Plus™ para as seis diferentes cores de telhas cerâmicas ensaiadas anteriormente no espectrofotômetro.

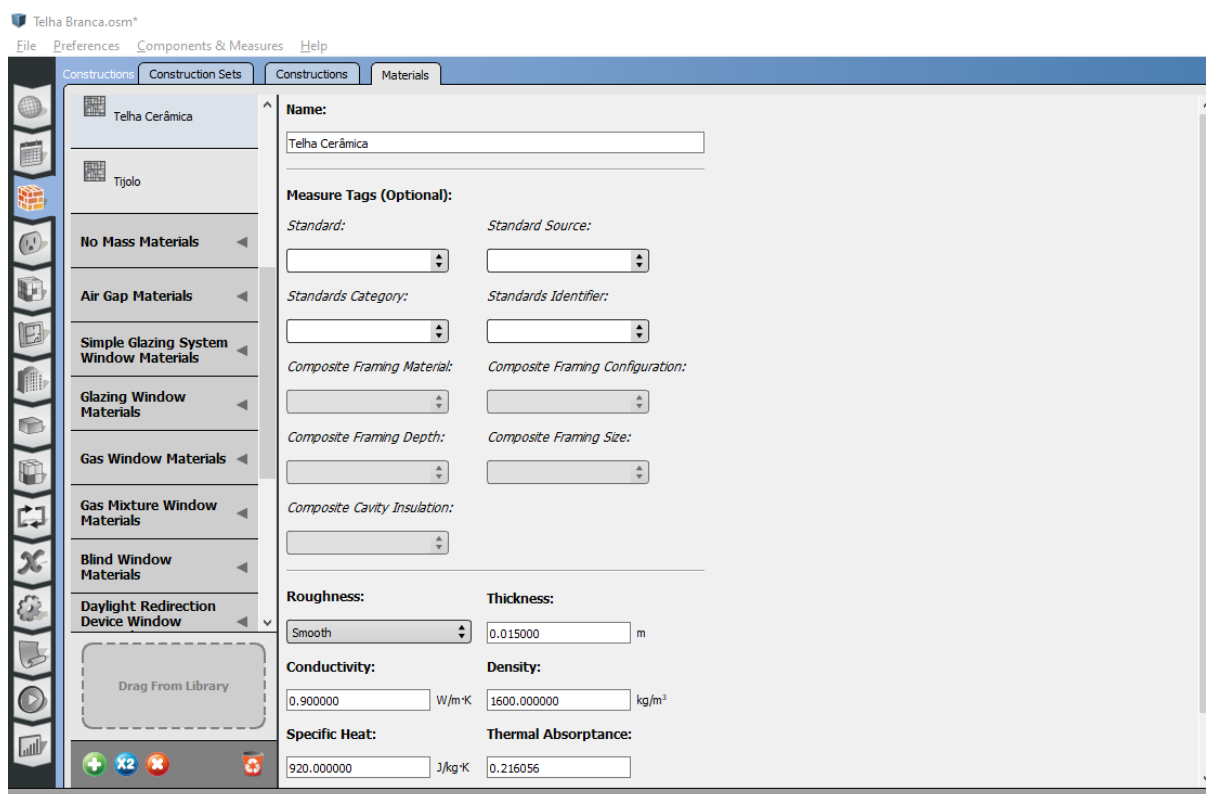
4.2.1 Dados de entrada

A Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução N° 9 de 2003, estabelece intervalos de temperaturas termicamente confortáveis, que variam entre 23°C e 26°C para resfriamento e entre 20°C e 22°C para aquecimento. Assim sendo, nas simulações foram utilizados os limites de 23°C para resfriamento e de 20°C para aquecimento. As simulações térmicas ocorreram de diferentes maneiras de acordo com os cômodos da residência, e foi

excluído o condicionamento em cômodos onde por costume não existem aparelhos de condicionamento de ar. Desta maneira, determinamos que durante o dia o condicionamento térmico ocorre na sala e na cozinha da edificação, entre as 8:00hrs e as 23:00hrs. No período noturno, o condicionamento de ar ocorre nos três dormitórios da residência, entre os horários de 23:00hrs até 8:00hrs do dia seguinte.

As configurações referentes às propriedades termofísicas dos materiais construtivos foram efetuadas a partir dos dados expressos no Anexo B, Tabela B.3 da NBR 15220 (ABNT, 2005), exposta no Anexo A ao final deste trabalho. Estas propriedades são textura, que pode ser classificada de muito liso a muito áspero, condutividade térmica, calor específico, espessura, massa específica e absorptância.

Figura 8 – Configurações da telha cerâmica branca no software OpenStudio®



Fonte: Autores, 2020.

Os valores de absorptância dos elementos construtivos, como vimos no decorrer deste estudo, variam de acordo com características físicas e térmicas dos materiais. Com isso, os valores de absorptância dos materiais foram constantes, cujos dados foram extraídos da NBR 15220 (ABNT, 2005), com exceção das telhas cerâmicas, cujos valores foram alimentados com

os resultados obtidos nos ensaios feitos no espectrofotômetro e apresentados anteriormente neste trabalho.

4.2.2 Resultados das simulações térmicas

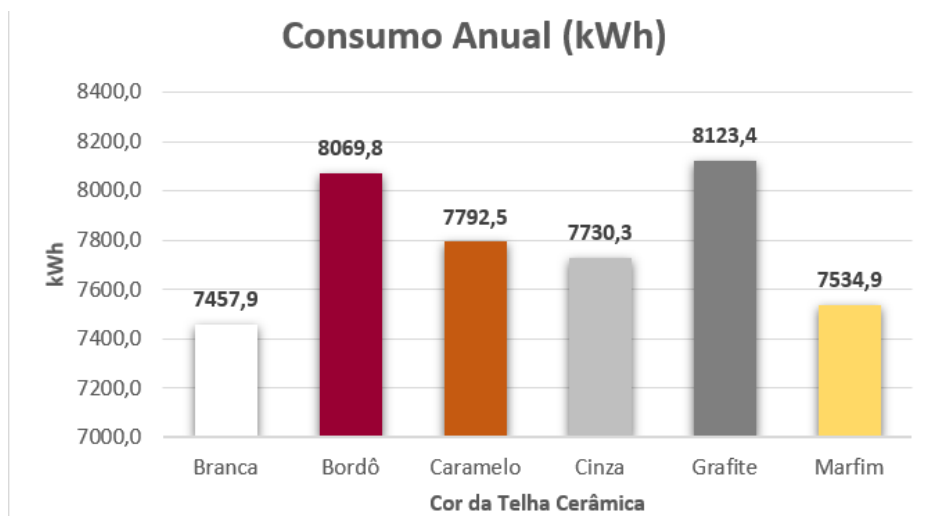
Após o software calcular as simulações térmicas para o modelo arquitetônico criado com cada cor de telha analisada, baseando-se nas diferentes absorptâncias de cada uma das amostras, obteve-se uma grande base de dados referente ao consumo energético para o modelo arquitetônico criado. Este tópico mostrará, comparativamente, o impacto econômico anual de cada cor de telha analisada.

Visando explicar os resultados com objetividade e clareza, optamos pelo uso de gráficos para analisar os dados de consumo de energia elétrica em kWh, além dos valores em Reais que seriam devidos nas faturas de energia elétrica em cada situação. Para calcular o valor das faturas, foram utilizados os parâmetros de cobrança da CELESC, referente ao mês de março de 2020, com a bandeira tarifária verde. As tarifas do respectivo mês eram de R\$0,583733 para os primeiros 150kWh consumidos e R\$0,696153 para o consumo acedente aos 150kWh. O CUB de Santa Catarina em março de 2020 era de R\$1.945,43.

O Brasil é um país tropical, com temperaturas predominantemente altas. Este fato faz com que não seja comum o aquecimento interno das edificações de um modo geral, salvo algumas exceções. Por esse motivo, não será detalhado neste trabalho os valores de consumo de energia elétrica para o aquecimento da residência em questão. O aquecimento foi tratado somente em conjunto com o resfriamento, nunca isolado. Temos como costume em nosso país usar os condicionadores de ar para resfriar os ambientes internos das edificações, sendo assim, também analisamos isoladamente o consumo energético para esta modalidade.

O gráfico a seguir apresenta os consumos em kWh no decorrer de um ano, para as seis cores de telhas cerâmicas, condicionando o ar tanto no aquecimento quanto no resfriamento, conforme a necessidade térmica.

Gráfico 1 – Consumo anual em kWh para aquecimento e resfriamento



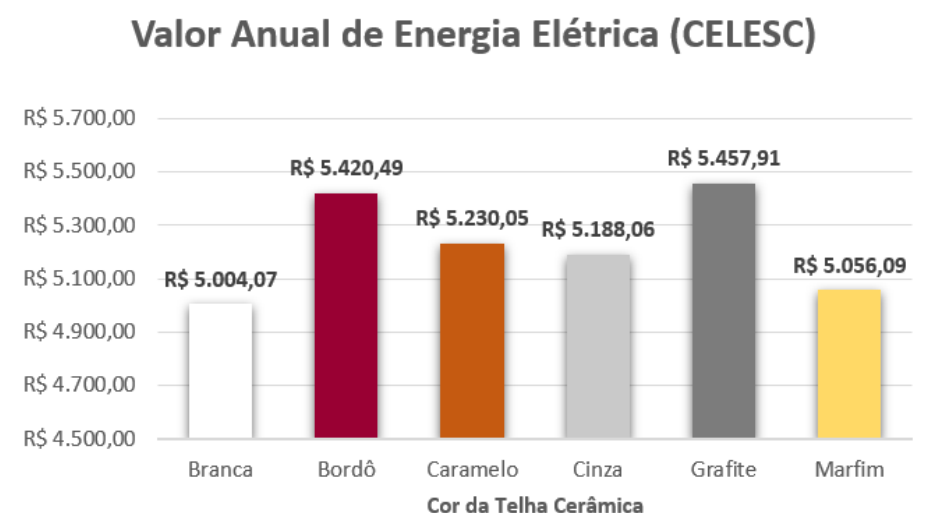
Fonte: Autores, 2020.

O gráfico 1 nos permite visualizar com clareza a variação no consumo de energia elétrica para cada cor de telha para o condicionamento total do ar, ou seja, aquecimento quando a temperatura no interior da residência estiver abaixo de 20°C e resfriamento quando a temperatura for superior a 23°C.

A maior amplitude de consumo está entre as telhas com refletância maior e menor entre as amostras analisadas, isto é, telha branca e telha grafite, respectivamente. Ao final de um ano, pode-se consumir até 665,5kWh a mais se utilizarmos a telha de cor grafite na cobertura da residência em estudo.

Para compreendermos o impacto financeiro desta amplitude no consumo de energia, criamos um gráfico comparativo entre todas as amostras com valores em Reais para o mesmo cenário de condicionamento de ar, aquecimento e resfriamento.

Gráfico 2 – Valor anual em Reais para aquecimento e resfriamento



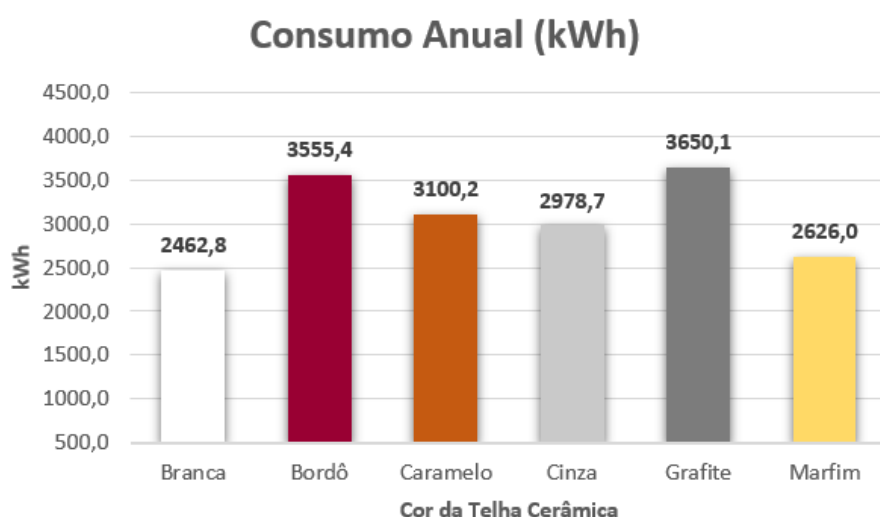
Fonte: Autores, 2020.

Todos os valores expostos no Gráfico 2 foram simulados a partir das tarifas cobradas pela CELESC, como mencionado anteriormente. Em consequência da amplitude de consumo de energia elétrica entre as telhas branca e grafite, a maior variação nos valores das faturas também ocorre entre estas duas amostras.

A telha de cor grafite, se utilizada, demandaria um investimento de R\$5.457,91 para a manutenção da energia elétrica na residência. Em contrapartida, com a telha branca instalada na edificação, seria necessário investir R\$5.004,07. Isto significa uma economia de 8,31%.

Os dois próximos gráficos apresentam dados de um cenário mais comum nas residências brasileiras, onde usa-se os condicionadores de ar apenas para o resfriamento dos ambientes internos.

Gráfico 3 – Consumo anual em kWh para resfriamento

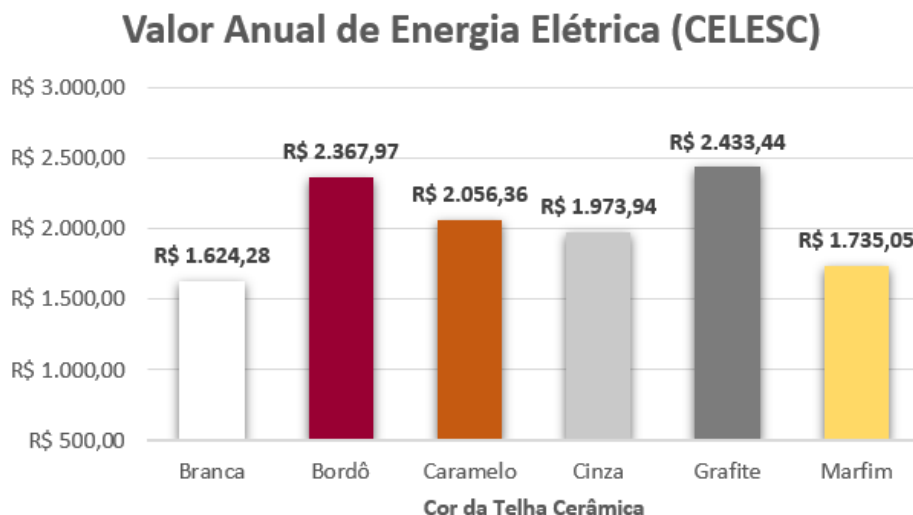


Fonte: Autores, 2020.

No cenário onde o condicionamento de ar é apenas para resfriamento interno da edificação, a amplitude no consumo de energia elétrica é muito maior à situação anterior, onde trabalhamos com aquecimento e resfriamento. O gráfico 3 mostra essa variação em kWh durante o período de um ano, onde temos 1187,3kWh de diferença entre as telhas branca e grafite. Relembramos que estas duas cores foram as que obtiveram respectivamente, os maiores e menores índices de refletância após os ensaios no espectrofotômetro.

O gráfico 4 complementa a análise de consumo apresentada no gráfico 3, onde é exposto os valores dos somatórios das faturas de energia elétrica no período de um ano para cada uma das cores de telhas em estudo.

Gráfico 4 – Valor anual em Reais para resfriamento



Fonte: Autores, 2020.

Este gráfico resume os valores que seriam devidos à CELESC para cada cor de telha utilizada nas simulações térmicas. Trabalhando apenas com o resfriamento dos ambientes, a diferença no valor entre a telha de cor grafite e a telha branca chegou a R\$809,16 ao final de um ano, ou seja, a telha de cor branca permite ao usuário economizar 33,25% em relação à amostra de cor grafite.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios de refletância realizados por meio do espectrofotômetro trazem resultados que condizem com os temas abordados na revisão bibliográfica exposta neste trabalho, quantificando os índices de refletância para cada uma das seis cores de telhas cerâmicas objetos deste estudo. Dentre as características observadas, nota-se a dificuldade que todas as amostras tiveram em refletir os raios da região ultravioleta do espectro solar, sendo a cor bordô a telha com o pior desempenho neste quesito, refletindo somente 7,70% dos raios ultravioletas. A telha cerâmica branca, refletiu 34,37% na mesma região, o melhor desempenho entre todas as amostras.

Os dados obtidos após a compilação dos resultados evidenciam que o conhecimento empírico, apesar de não ter validade científica, nos permite dizer que as cores mais claras refletem mais luz às cores escuras, porém somente com auxílio de um espectrofotômetro podemos afirmar com exatidão a quantidade de luz refletida e absorvida por cada amostra analisada.

Em relação às simulações térmicas, é importante observar que não há linearidade nos resultados quando comparados aos dados de índice de refletância. Por exemplo, no cenário de resfriamento apenas, a telha marfim obteve 73,98% de índice total de refletância, contra apenas 61,95% da amostra de cor caramelo, ou seja, a telha marfim absorve 31,61% menos luz do que a telha caramelo. Entretanto, essa variação não é refletida no consumo energético da residência em estudo, pois ao utilizar a telha caramelo como cobertura, o consumo de energia elétrica seria de 3100,2kWh ao ano, contra 2626,0kWh ao ano com a telha de cor marfim, resultando em apenas 15,30% de economia.

Buscando compreender os motivos pelos quais não há linearidade entre as variações dos resultados nos ensaios de refletância e nas simulações térmicas, podemos pontuar possíveis aspectos que ocasionam esse comportamento. Com base nos dados obtidos nos relatórios de resultados das simulações térmicas fornecidos pelo software Energy Plus™, foi possível calcular a eficiência dos condicionadores de ar, cujos valores se diferem quando tratamos de aquecimento ou resfriamento. A perda de energia no processo de aquecimento é 3,4 vezes maior do que a perda quando o ambiente é resfriado, sendo assim, não há como encontrar um padrão de consumo energético, já que a edificação possui cômodos com diferentes dimensões, onde o tempo de incidência solar varia de acordo com a posição da edificação em relação ao norte, exigindo dos condicionadores de ar diferentes períodos de trabalho para cada cômodo, fazendo com que mesmo quando o cenário for de resfriamento apenas, com um único fator de eficiência, não seja possível determinar um padrão de consumo de energia elétrica.

Analisando mais a fundo os resultados, nota-se que a diferença no consumo energético entre as amostras é mais acentuada no cenário de resfriamento apenas. Isto acontece porque no cenário de aquecimento e resfriamento a variação do consumo anual entre as amostras se equilibra conforme a necessidade de condicionar o ar dos ambientes em diferentes estações do ano. Ao compararmos, por exemplo, o consumo energético das amostras marfim e bordô, fica evidente que o percentual de economia ao utilizar a telha marfim em relação à bordô é muito maior no cenário de resfriamento apenas, pois exigiu-se um período consideravelmente menor de condicionamento de ar para a telha marfim. Já no cenário de aquecimento e resfriamento, o maior consumo de energia elétrica necessário para resfriar os ambientes durante os dias mais quentes, quando utilizada a telha bordô, foi compensado pela ausência de trabalho dos condicionadores de ar nos dias mais frios, levando em consideração a maior absorção de luz e consequentemente maior transferência de calor para o interior da edificação, enquanto a telha marfim exigiu maior aquecimento interno da residência nos dias mais frios.

5 CONCLUSÃO

O anseio por edificações sustentáveis e mais eficientes termicamente trouxe consigo tecnologias e métodos que possibilitam a manutenção da temperatura interna das construções em geral, com uma menor influência de condicionadores de ar. Entre as tecnologias conhecidas atualmente, podemos citar isolamento térmico em fachadas, ainda que usado em pequena escala, como uma alternativa eficaz contra a transferência de calor do exterior para o interior das edificações.

Dados da PROCEL indicam que os condicionadores de ar são responsáveis por 20% do consumo total de energia elétrica residencial no país, elevando este percentual para 32% na Região Sul do Brasil. Tubarão está localizada na Zona Bioclimática 2, conforme determina a NBR 15220/05, tendo como principais características a grande amplitude térmica entre diferentes horas do dia, e também possui as estações do ano bem definidas. A utilização de telhas com maior índice de refletância nas coberturas das edificações permite uma redução considerável da transferência de calor entre os ambientes externo e interno das residências, obtendo assim, menores custos relacionados ao condicionamento de ar.

Baseado nas análises realizadas, ficou evidente que as telhas cerâmicas com maior índice de refletância, quando usadas em coberturas, proporcionam redução significativa no consumo de energia elétrica, pois estas, por absorverem menor quantidade dos raios solares dificultam a troca de calor entre os meios externo e interno das edificações. A consequência disso é a economia referente às faturas cobradas pela concessionária de energia elétrica.

Salienta-se a importância de pôr em prática métodos e tecnologias construtivas com o objetivo de construir edificações mais sustentáveis, e para que desta maneira seja possível utilizar os recursos naturais de forma consciente. Este trabalho mostrou que a simples decisão de utilizar telhas com tonalidades mais claras elevam significativamente a eficiência energética da edificação, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

Por fim, sugere-se que em trabalhos futuros, sejam realizadas simulações com coberturas com os mesmos valores de refletância apresentados neste estudo, porém utilizando um novo modelo arquitetônico, com um único cômodo. Com isso, provavelmente será possível encontrar um padrão na variação de consumo para cada amostra analisada.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Aneide Oliveira; OLIVEIRA, Marcelle Colares. **Tipos de pesquisa**. Trabalho da aula de Metodologia de Pesquisa Aplicada a Contabilidade da USP, 1997.

ASHRAE. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15220: Desempenho Térmico em Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 6405: Rugosidade das Superfícies – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 1988.

CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P; LABAKI, L. C. **Indicativos para emprego apropriado de vidros planos na construção civil, segundo critérios espectrofotométricos**. 3º Encontro Nacional /1º Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Gramado, 1995.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4ª Edição. Porto Alegre, 2012.

DOMINGUEZ et al. **Control climático em espacios abiertos**. Departamento de Engenharia Energética e Mecânica dos Fluidos. Universidad de Sevilla, Sevilla, 1992.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Comportamento Espectrofotométrico de Amostras Lisas e Rugosas Pintadas**. Universidade de São Carlos, 2006.

ELETROBRAS / PROCEL. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano base 2005 – Classe Residencial Nacional.** Eletrobras, Procel, set. 2007.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2018 / Ano Base 2017.** Ministério de Minas e Energia, 2018.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de Conforto Térmico.** 5ª Edição. Editora Studio Nobel, São Paulo, 2001.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5 Edição. São Paulo: Atlas, 1999, p. 206.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Urban and Building Design.** Nova Iorque, 1998.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** Londres, 1981.

GONÇALVES, Joana Carla Soares. **A Sustentabilidade do Edifício Alto: uma nova geração de edifícios altos e sua inserção urbana.** Tese de doutorado em Arquitetura - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2003.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 4.** 10ª Edição. LTC. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P.. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 3ª Edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro. 1990.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P., BERGMAN, Theodore L., LAVINE, Adrienne S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa.** 6ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 2007. Traduzida por LTC, 2008.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 22 fev. 2020.

JAHNKE, Karin A.; PROVENZANO, Thaís; GUTHS, Saulo; SOUZA, João Carlos. **Reutilização de Embalagem de Tipo Longa Vida Como Barreira Radiante em Painel de Vedação**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando Oscar. **Eficiência Energética na Arquitetura 3ª Edição**. Eletrobras, PROCEL, 2014.

LITTLEFAIR, P. **Daylight Availability for Lighting Controls**. CIBSE - National Lighting Conference, Cambridge. Londres, CIBSE, 1984.

MAHL, Henrique Lidório, LOPES, Marisa Carreiro. **Análise do Impacto no Consumo de Energia Elétrica Gerado por Sistema de Isolamento Térmico em Fachadas pelo Exterior**. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2018.

PERALTA, Gizela. **Desempenho Térmico de Telhas: Análise de Monitoramento e Normalização Específica**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1985.

ROBINSON, M. **Solar Radiation**. Nova Iorque, 1966.

RORIZ, Victor; DORNELLES, Kelen Almeida; RORIZ, Maurício. **Fatores Determinantes da Absortância Solar de Superfícies Opacas**. UNICAMP, Campinas, 2007.

ROSA, Y.B.C.J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão**, para Viçosa - MG. Viçosa: UFV, 1984. 77p. Dissertação Mestrado.

SCHNEIDER, David J. **The Electromagnetic Spectrum**. Department of Geological Engineering and Sciences. Michigan Technological University, 1993. Disponível em: <http://www.geo.mtu.edu/rs/back/spectrum/>. Acesso em 21 de Outubro de 2019.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü.. **Evaluation of Exterior Building Surface Roughness Degrees by Photogrammetric Methods. Building and Environment**, Vol. 31, 1996.

WATANABE, Roberto Massaru. **Tipos de Transmissão de Calor**. 2012. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/roberto/conforto/CS04transmissao.htm>> Acesso em: 06 set. 2019.

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL. **Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3, de 29/04/2005**. Universidade Federal de São Carlos. Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/antigo/software/zbbbr.html>>. Acesso em: 06 set. 2019.

ANEXOS

ANEXO A – Propriedades físicas de materiais

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Tabela B.3 (continuação) - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)