

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – CAMPUS ARARANGUÁ

MILENA PAIM DA SILVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA**

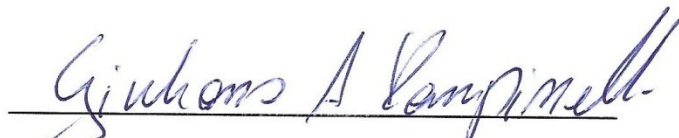
ARARANGUÁ, 2017

MILENA PAIM DA SILVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá

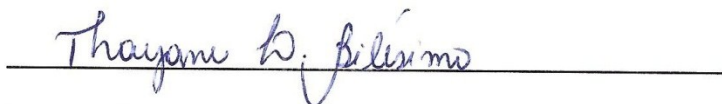
Aprovado em: 03/04/2017



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)



Prof. Dr. César Cataldo Scharlau (Examinador)



Engenheira de Energia Thayane Lodete Bilésimo (Examinador)

SIMULAÇÃO E ANÁLISE TERMOENERGÉTICA DE UMA PLANTA PILOTO BIOCLIMÁTICA

Milena Paim da Silva*

RESUMO

O cenário de demanda crescente de energia elétrica resultante do aumento populacional, da urbanização e do avanço tecnológico é um desafio da sociedade contemporânea. A geração distribuída e a eficiência energética são soluções relevantes para atender as demandas do desenvolvimento sustentável, tanto no projeto de novas edificações quanto em *retrofit*. Os edifícios no Brasil, via de regra, foram construídos sem considerar as características do clima local. Desta forma, o consumo de condicionamento de ar artificial é uma das principais estratégias para suprir o conforto térmico dos ocupantes, quando se trata de unidades residenciais e comerciais. Esse trabalho apresenta uma análise de desempenho termoenergético de uma planta piloto bioclimática localizada em Araranguá, sul de Santa Catarina. A análise de desempenho termoenergético da edificação foi realizada a partir de dados provenientes de simulação do software *EnergyPlus*. A planta piloto foi construída com estratégias bioclimáticas, sendo as principais: isolamento térmico nas paredes externas e coberturas, fachada ventilada, telhado vegetado e telhas termoacústicas. O trabalho apresenta uma análise comparativa de desempenho entre a planta piloto bioclimática e uma planta piloto sem estratégias bioclimáticas e resultados de simulação da planta piloto bioclimática em cidades das distintas zonas bioclimáticas brasileiras, a fim de verificar o impacto que os diferentes climas causam na mesma edificação. Os resultados da simulação comprovaram que as estratégias bioclimáticas têm impacto no desempenho térmico e energético da edificação.

Palavras-chave: Simulação Termoenergética. Eficiência Energética em Edificações. Software *EnergyPlus*.

* Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900-000. E-mail: milena_paim@hotmail.com

ABSTRACT

The increasing consumption of electric energy that is the result of population growth, urbanization and technological advancement is a challenge for contemporary society. Distributed generation and energy efficiency are relevant solutions to meet the demands of sustainable development, both in the design of new buildings and in retrofit. In Brazil, the buildings were built without considering the characteristics of the local climate. The consumption of artificial air conditioning is a strategy commonly used to supply thermal comfort in buildings. This work presents an analysis of thermal and energy performance of a bioclimatic pilot plant located in Araranguá, south of Santa Catarina. The simulation was performed using the EnergyPlus software. The pilot plant was built with bioclimatic strategies, for example, thermal insulation in walls and roofs, ventilated facade, green roof and thermoacoustic roof. The work presents a performance analysis between the bioclimatic pilot plant and a pilot plant without bioclimatic strategies. The performance of the bioclimatic pilot plant in different bioclimatic zones is also presented. The results of the simulation proved that the bioclimatic strategies have an impact on the thermal and energy performance of the building.

Keywords: Thermal and Energy Performance. Energy Efficiency in Buildings. EnergyPlus Software.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica em âmbito internacional é crescente devido, principalmente, a expansão e urbanização populacional e o avanço tecnológico, gerando, desta forma, grandes investimentos para a produção deste insumo. Uma solução para esse problema está na implantação de sistemas de geração distribuída, devido à instalação rápida do sistema e a redução de perdas de energia na transmissão e distribuição, uma vez que a geração de energia é muito próxima do local de consumo.

No entanto, é importante que a edificação que receberá a geração distribuída seja eficiente. Isso porque caso sejam instalados esses sistemas em unidades consumidoras ineficientes estará resultando em mais consumo ambiental. Pois além do desperdício de energia na edificação há mais o consumo de energia gasta para produzir todos os elementos necessários para a implantação do sistema de geração distribuída. Os insumos utilizados para a fabricação dos elementos que constituem o sistema de geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos, por exemplo, utilizam muita energia, logo, é fundamental ter responsabilidade ao utilizá-los.

Neste cenário, é de grande importância que a geração distribuída esteja aliada com a eficiência energética, para que de fato, essas ações impactem de forma positiva o problema da demanda crescente de energia elétrica. No Brasil, a eficiência energética começou a ganhar ênfase a partir da classificação de equipamentos quanto a sua efficientização que posteriormente foi expandida às edificações. A eficiência energética é uma solução razoavelmente rápida, quando comparada com as demais soluções para o problema da crescente demanda de energia elétrica, pois combate o desperdício e melhora o aproveitamento dos recursos naturais. Apesar da relevância destas duas soluções, neste trabalho de conclusão de curso será tratada somente a questão da eficiência energética e esta restrita a edificações.

No Brasil, há programas de eficiência energética que atendem à necessidade de aumentar a eficiência nos usos finais da energia, trabalhando pelo lado da demanda da energia elétrica. Em todos os países a energia geralmente mais barata, que cria mais empregos estáveis e que é mais vantajosa ecologicamente, é aquela que se consegue economizar (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

O atendimento da demanda tem a eficiência energética como um fator de grande importância, contribuindo assim para a segurança energética, para a modicidade tarifária, para a competitividade de economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. As

edificações no Brasil foram construídas sem levar em consideração os aspectos climáticos do local da edificação e estratégias visando a eficiência energética. O resultado disso é o grande consumo de condicionamento de ar em todas as regiões brasileiras.

Segundo o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas correspondem a aproximadamente 50% do total da eletricidade consumida no país. Contudo, o potencial de economia de energia desse setor também é significativo. As edificações novas construídas levando em consideração a eficiência energética podem obter uma economia de até 50%, e as edificações existentes podem obter uma economia de até 30% quando submetidas a reformas para sua adequação (PROCEL, 2017).

Uma pesquisa realizada pela ABESCO (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia) sobre o potencial de eficiência energética no Brasil entre 2008 e 2016 apresentou resultados expressivos. Nos últimos três anos, o Brasil desperdiçou 89.357,57 GWh, ou seja, um potencial de economia de R\$ 40,62 bilhões, somente nos setores residencial e comercial (ABESCO, 2017).

A matriz brasileira de energia elétrica é uma das mais renováveis do mundo, porém o país apresenta altos níveis de desperdício de energia elétrica (BRASIL, 2010). Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo contribuir para estudos na área de eficiência energética em edificações, trazendo um referencial teórico com informações relevantes. O trabalho consiste na realização de simulação termoenergética de uma planta piloto com e sem estratégias bioclimáticas, a fim de comparar os resultados e analisar as principais diferenças. Para concluir, foi realizada a simulação da mesma planta piloto bioclimáticas em cidades das diferentes zonas bioclimáticas do Brasil, com a finalidade de analisar e comparar os resultados finais da simulação.

O trabalho está dividido em: referencial teórico na seção 2, abordando temas relevantes para o entendimento do trabalho; metodologia na seção 3, indicando como o trabalho foi construído e resultados na seção 4, que apresenta os resultados obtidos e algumas discussões. Por fim, são apresentadas as considerações finais e as referências utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os temas mais relevantes para a compreensão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

2.1 Eficiência Energética

A eficiência energética não tinha relevância até o primeiro choque do petróleo em 17 de outubro de 1973 (REIS; ROMÉRO, 2012). Até então havia pouca preocupação e políticas públicas para disciplinar o consumo de energia elétrica. Com essa crise, a geração de energia a partir de fontes renováveis ganhou destaque no âmbito internacional. No entanto, os custos eram altos para sua implantação e como uma solução rápida, visualizou-se o uso racional de energia.

O choque do petróleo deflagrou um processo absolutamente novo na história dos edifícios no cenário internacional: a aplicação em larga escala de regulamentos com força de lei visando à redução dos consumos energéticos em edifícios e políticas de incentivo que objetivam o mesmo fim (REIS; ROMÉRO, 2012, p. 21).

A questão energética no Brasil foi realmente sentida no início do século XXI com a ocorrência dos apagões. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2014), gerar um novo megawatt de energia elétrica custa 200% mais do que economizar um megawatt. Carlo (2008) fundamenta que a eficiência energética nas edificações tem a finalidade de racionalizar o consumo de energia elétrica evitando desperdícios, mas sem comprometer os serviços necessários à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário de uma edificação.

Conceituado por Lamberts; Dutra; Pereira (2014, p. 5) um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia, ou seja, a eficiência energética “pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

O consumo de energia de uma edificação é função dos equipamentos presentes na mesma, incluindo iluminação artificial, aparelhos de condicionamento de ar, da ocupação, atividade exercida na edificação, pois interfere no ganho térmico e assim no consumo de ar condicionado e da envoltória da edificação. A envoltória da edificação contribui para o consumo através das trocas térmicas entre os ambientes, interno e externo. Em climas quentes os ganhos térmicos são maiores devido à carga térmica gerada pela envoltória, juntamente com os ganhos internos de ocupação e equipamentos. Essa carga térmica deve ser compensada pelo sistema de condicionamento de ar para que os usuários fiquem em conforto térmico. As características da envoltória podem aumentar ou diminuir os ganhos de calor, como os materiais de construção e suas propriedades térmicas, as cores das superfícies, o tipo de vidro utilizado, composição da cobertura, entre outras características (CARLO, 2008).

A influência dessas características da edificação foi estudada no presente trabalho a fim de verificar suas contribuições para a eficiência energética na edificação analisada.

2.1.1 Arquitetura bioclimática

O conceito de arquitetura bioclimática inclui as condicionantes locais do clima, explorando suas vantagens e evitando seus extremos, visando o conforto ambiental dos usuários, porém com baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A bioclimatologia é o ramo do conhecimento que relaciona o clima aos seres vivos. Quando a bioclimatologia é aplicada na arquitetura, podem-se estabelecer projetos arquitetônicos que priorizem estratégias naturais, procurando reduzir o uso dos sistemas de iluminação e climatização artificial, minimizando custos do empreendimento, de manutenção e operação (CUNHA et al., 2012).

O Brasil possui um extenso território e cada região possui características climáticas diferentes. Por esse motivo, a arquitetura bioclimática precisa atender às necessidades humanas em cada uma das diferentes regiões climáticas através de formas arquitetônicas diferentes (DREHER; JACOSKI; MEDEIROS, 2016).

A arquitetura bioclimática adequa o projeto considerando a geometria, orientação e construção do edifício às condições climáticas de seu entorno. A adequação ambiental e climática não deve se entender como um elemento a mais de um processo de projeção arquitetônica predominante. No entanto, o projeto que deve adequar-se às solicitações do meio natural e a todos os demais condicionantes de partida, aproveitando todas as possibilidades que lhe são oferecidas (PINTO, 2009).

É preciso que o estudo ambiental e climático do local de uma edificação leve em consideração a orientação solar aliada a uma boa localização dos cômodos, para que assim contribua na melhoria das condições de conforto térmico. Deve ser estudada a localização das aberturas da edificação para facilitar a ventilação cruzada, bem como o ganho de calor solar no inverno. Em relação ao sombreamento, devem ser usados de maneira a evitar a penetração de radiação solar durante o verão e permitir a entrada de radiação no inverno, a fim de aquecer passivamente os ambientes (DREHER; JACOSKI; MEDEIROS, 2016).

As principais estratégias e as mais usuais da arquitetura bioclimática são o estudo da orientação solar, a fim de identificar quais zonas são aptas a receber radiação solar; iluminação natural; ventilação natural e isolamento térmico, utilizando materiais isolantes adequados para conservar a temperatura do interior por mais tempo. Com a união dessas

estratégias, pode-se evitar o uso demasiado de sistemas artificiais de climatização interior como ar condicionado, alcançando, assim, um bom nível de eficiência energética (PINTO, 2009).

2.1.2 Orientação solar

A orientação do edifício interfere na quantidade de calor recebida por ele. O uso adequado da orientação em função da radiação solar implica no conforto térmico e menores consumos de energia para a edificação (MASCARÓ, 1991). Há grandes diferenças de ganho térmico de fachadas favoravelmente e desfavoravelmente orientadas. Segundo Mascaró (1991), o aumento da carga térmica recebida por um edifício mal orientado é de quase 150% em uma latitude de 30°S (correspondente a Porto Alegre, RS). Contudo, o uso adequado da orientação resulta em menores consumos de energia.

Em localidades de média e alta latitude, verificam-se dias mais longos no verão e dias mais curtos no inverno. Esse fato é o resultado da inclinação do eixo da Terra que faz com que a duração dos dias varie ao longo do ano. Ou seja, no inverno o ângulo solar é menor, logo, a radiação solar incide sobre os ambientes internos, no verão, o ângulo solar é maior e a incidência direta da radiação solar nos ambientes internos pode ser evitada através da utilização de brises. No Equador terrestre, a duração dos dias é sempre igual e nas suas proximidades as variações são pequenas e, nos equinócios, as durações dos dias são as mesmas para qualquer localidade (GALDINHO; PINHO, 2014).

A edificação recebe menos carga térmica quando suas fachadas principais são Norte-Sul e maiores cargas térmicas quando suas fachadas principais são Leste-Oeste, para latitudes de 30°S (MASCARÓ, 1991). Deve-se fazer um estudo detalhado sobre a orientação da edificação quando se busca maior conforto térmico e eficiência energética, pois ela interfere também na iluminação natural e ventilação natural.

2.1.3 Telhado Vegetado

De acordo com Giovani (1976 apud Araújo, 2007), as coberturas são os elementos da construção que mais sofrem com as amplitudes térmicas devido a sua grande exposição aos efeitos climáticos. As perdas de calor durante a noite o impacto da radiação solar em dias de verão e de chuvas afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação. Em razão disso, sofrem grandes impactos de variações de temperatura.

Telhado verde, cobertura verde, jardim suspenso ou telhado vegetado é um sistema construtivo que consiste em uma cobertura feita com grama ou plantas. Sua instalação pode ser feita em lajes ou sobre telhados convencionais e proporcionam conforto térmico e acústico nos ambientes internos da edificação (SILVA, 2011).

Segundo Silva (2014), algumas vantagens em relação à estética da utilização desse tipo de cobertura são o aumento significativo da área verde em contexto urbano, aumento do espaço útil e possibilidade de cultivo na cobertura. Há também vantagens ambientais, tais como: aumento da biodiversidade e nichos ecológicos, absorção e filtragem de gases poluentes e partículas em suspensão da atmosfera, redução do efeito ilha de calor, diminuição da transmissão sonora e melhoria do microclima. Vantagens econômicas estão ligadas ao aumento da eficiência energética e redução dos custos com energia, aumento do tempo de vida-útil das coberturas, economia em longo prazo e valorização do imóvel. No entanto, a utilização do telhado vegetado possui algumas desvantagens, como a mão-de-obra especializada, aumento das cargas na cobertura, investimento inicial, manutenção, o fato de ser pouco conhecido e problemas com impermeabilização executada de forma inadequada.

Segundo Tomaz (2007 apud Cardoso, 2009), edificações que utilizam telhados vegetados apresentam retenção de 15% a 70%, em média, das águas pluviais, possibilitando desta forma redução nos picos de enchentes e redução da temperatura em mais de 40% no verão. A implementação de um telhado vegetado suscita a necessidade de implantar uma camada impermeável na cobertura a fim de impedir a infiltração de água na laje, um sistema de drenagem que permita o escoamento da água e não acumulação em locais impróprios (DREHER; JACOSKI; MEDEIROS, 2016).

Em uma análise comparativa entre o telhado vegetado, telha cerâmica e telha de amianto, verificou-se que o telhado vegetado se sobressaiu aos outros tipos de coberturas em vários aspectos, como: isolamento térmico, amplitude térmica, economia de energia e proteção dos demais componentes do sistema de cobertura (OLIVEIRA; SOARES; SANTOS, 2016).

Entretanto, os projetistas contam com uma nova opção de cobertura, as telhas termoacústicas, também chamada de telha sanduíche, a cobertura reúne propriedades que isolam a temperatura e o som. São compostas por duas chapas metálicas e contêm um isolante térmico em seu interior. Esse tipo de telha evita custos desnecessários com refrigeração (ANANDA, 2017).

2.1.4 Fachada Ventilada

Segundo Poliessi (1986 apud Radoll, 2012), os revestimentos exercem a função de recobrimento da superfície das paredes. Por isso, de modo geral, são os primeiros componentes da edificação a sofrerem a ação dos agentes agressivos, tanto da própria utilização do edifício quanto de origem natural. Por essa razão, os revestimentos cerâmicos, utilizados nas fachadas ventiladas, protegem a estrutura do edifício e aumentam a durabilidade.

De acordo com a NBR 15575-4 – Desempenho de Edifícios Habitacionais até Cinco Pavimentos – sistemas de vedações verticais externas e internas, a ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008a, p. vii) especifica os requisitos mínimos exigidos para o sistema de vedação vertical. A Norma determina também as funções das fachadas: “[...] a estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas e compartimentação em casos de incêndio.”.

A fachada ventilada pode ser conceituada como um sistema de proteção e revestimento exterior de edifícios. É caracterizada pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando desta forma uma câmara-de-ar em movimento. A fachada é denominada ventilada devido à presença da câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício. Através do efeito conhecido como chaminé, na parte inferior o ar entra frio e sai quente na parte superior, há um arejamento na parede evitando assim umidades e condensação, resultando em um maior conforto térmico (GALVÃO, 2006).

Sua composição é basicamente por um suporte de fixação, por uma camada de material de isolamento térmico, pela câmara-de-ar ventilada, pelos dispositivos de fixação, pelo material de revestimento e por fim, pelas juntas entre placas (DUTRA, 2010).

2.1.5 Brises

Brises são elementos arquitetônicos formados por placas externas com a finalidade de impedir que os raios solares atinjam diretamente as superfícies, principalmente as transparentes, das edificações (MARAGNO, 2000). Através da utilização dos brises, dispositivos de sombreamento, pode-se evitar que a radiação solar penetre o edifício aquecendo-o demasiadamente.

Alguns brises permitem o uso de superfícies envidraçadas em determinadas fachadas, garantindo a proteção solar das mesmas e diminuindo a carga térmica sem bloquear a visão

exterior. O uso dessa proteção solar traz diversas vantagens além de proteger a edificação da radiação solar direta. Quando projetado adequadamente pode colaborar com a uniformidade luminosa do interior dos ambientes, diminuindo o contraste provocado pelo excesso de iluminação natural próximo às janelas. No entanto, o excesso de proteção solar junto às aberturas ao exterior reduz os níveis de iluminância no interior dos ambientes internos. Por isso, há a necessidade de projetar adequadamente essas proteções solares (LIMA et al., 2011).

Em climas primordialmente quentes a utilização de brises como proteção solar é de grande relevância para o desempenho térmico das edificações. Esses dispositivos barram a incidência da radiação solar antes que ela incida nas superfícies transparentes da edificação e cause um aumento indesejável da temperatura interna através da transmissão direta de calor.

Os principais tipos de brises são horizontais e verticais e podem ser fixos ou móveis. Para projetar adequadamente os brises para uma abertura em uma orientação específica é necessário saber qual é a necessidade de sombreamento no ambiente interior. Essa definição é tarefa do projetista, uma vez que esse conhece as condições necessárias para o ambiente interno da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

2.1.6 Isolamento Térmico

O isolamento térmico é empregado na proteção de superfícies sujeitas a trocas térmicas, através de materiais de baixa condutividade térmica (GALVÃO; FARIAS; MENDES, 2015).

De acordo com Torreira (1980 apud Galvão et al. 2015), para ser considerado um bom isolante térmico, o material deve apresentar as seguintes características: baixa condutividade térmica, boa resistência mecânica, baixa massa específica, baixa difusividade térmica, alto calor específico, resistência específica ao ambiente de utilização, baixa higroscopicidade, ausência de odor e baixo custo.

O isolamento térmico é utilizado a fim de reduzir a taxa de transferência de calor na edificação, obtendo assim um maior conforto térmico (SILVA, 2010). Materiais isolantes agem como interface entre os sistemas de diferentes potenciais térmicos, minimizando o fluxo de calor e, com isso, diminuindo o consumo de energia necessário à estabilização e controle da temperatura (RAHN, 2011).

Os materiais isolantes são utilizados na construção civil devido principalmente à sua baixa densidade e capacidade de isolamento termoacústico. Quando utilizado nas edificações, permite reduzir a potência de refrigeração dos sistemas de condicionamento de ar, buscando

maiores condições e conforto aliados à economia nos gastos com energia elétrica (SILVA, 2010).

2.2 Comportamento térmico da construção

O edifício sempre tem um certo ganho de calor em função da sua exposição à radiação solar. Esse calor será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros dos edifícios. As paredes opacas da edificação exposta à radiação solar e sujeita a uma diferença de temperatura entre os ambientes que separa, pode ser vista na Figura 1 (FROTA; SCHIFFER, 2001).

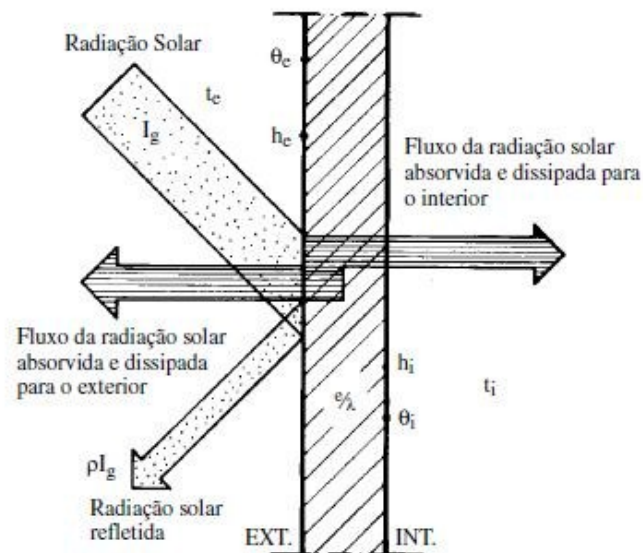


Figura 1 – Trocas de calor através de paredes opacas (Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001).

Os parâmetros da Figura 1 são:

- I_g : Radiação solar
- ρI_g : Radiação solar refletida
- t_e : Temperatura externa
- t_i : Temperatura interna
- h_e : Coeficiente de condutância térmica superficial externa
- h_i : Coeficiente de condutância térmica superficial interna
- θ_e : Temperatura da superfície externa
- θ_i : Temperatura da superfície interna

Como pode ser observado na Figura 1, quando a radiação solar entra em contato com a edificação, parte da radiação solar é absorvida e dissipada para o interior do ambiente, parte é refletida e parte é dissipada para o exterior. Esse fenômeno é o grande responsável pela temperatura no interior da edificação aumentar ao longo do dia, em função da radiação solar incidente.

No caso de aberturas transparentes ou translúcidas expostas à incidência da radiação solar e sujeitas a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de troca podem ser esquematizados como mostra a Figura 2 (FROTA; SCHIFFER, 2001).

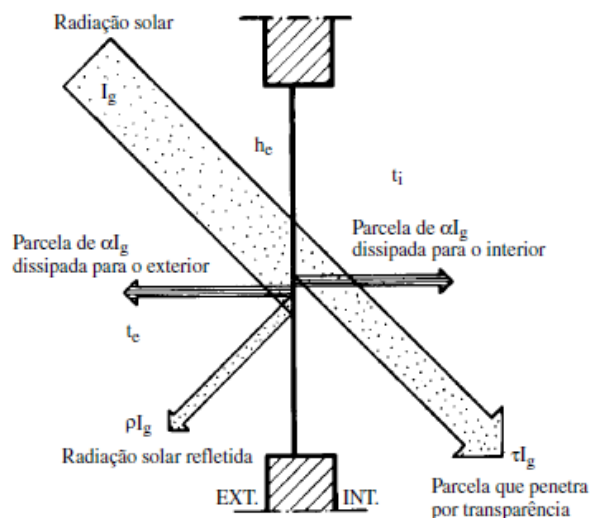


Figura 2 – Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas (Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001).

Como pode ser observado na Figura 2, grande parte da radiação solar incidente na superfície transparente penetra por transparência a superfície chegando ao ambiente interno, parte é dissipada para o interior através da superfície, parte é refletida e outra fração é dissipada para o exterior.

2.2.1 Inércia térmica

À inércia térmica estão associados dois fenômenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício, o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou resfriamento dos materiais. A inércia térmica depende das características térmicas da envoltória da edificação e dos componentes construtivos internos. Por exemplo, quando a temperatura exterior, suposta inicialmente igual à temperatura interior, se eleva, um

certo fluxo de calor penetra na parede. Esse fluxo não atravessa a parede imediatamente, antes a aquece internamente (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Conforme a Figura 3, tal fluxo de calor, se comparado com uma parede fictícia de peso nulo, atravessa a parede com um certo atraso e amortecimento. O atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutividade térmica e da capacidade calorífica da parede (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A condutividade térmica é uma propriedade do material que é classificada como uma propriedade de transporte, ela fornece uma indicação da taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionado ao estado da matéria (INCROPERA et al., 2008).

A capacidade calorífica da parede é expressa através do fator denominado calor específico, que se refere à quantidade de calor necessária para fazer elevar de uma unidade de temperatura, a sua unidade de massa ($J/kg^{\circ}C$) (FROTA; SCHIFFER, 2001), e a densidade é a taxa de variação volumétrica da massa, sendo que para uma distribuição uniforme de massa, pode ser determinada pela razão da quantidade de massa por unidade de volume (kg/m^3).

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada, que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes interiores, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos. Uma parede apresenta maior ou menor inércia térmica segundo seu peso e sua espessura. No entanto, os revestimentos têm um importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor com a parede e reduzem sua inércia. Outra informação relevante é que o amortecimento e o atraso serão maiores quanto maior for a inércia da construção (FROTA; SCHIFFER, 2001).

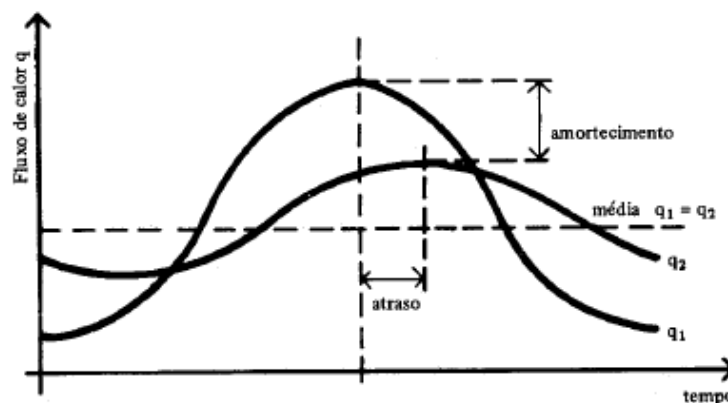


Figura 3 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1) (Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001).

A Figura 4 apresenta um exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto, não considerando os ganhos de calor solar, somente as trocas relativas às diferenças de temperatura. Essas representam ganhos durante as horas em que a temperatura externa é maior que a temperatura interna e perdas de calor, durante as horas em que a temperatura interna é maior que a temperatura externa (FROTA; SCHIFFER, 2001).

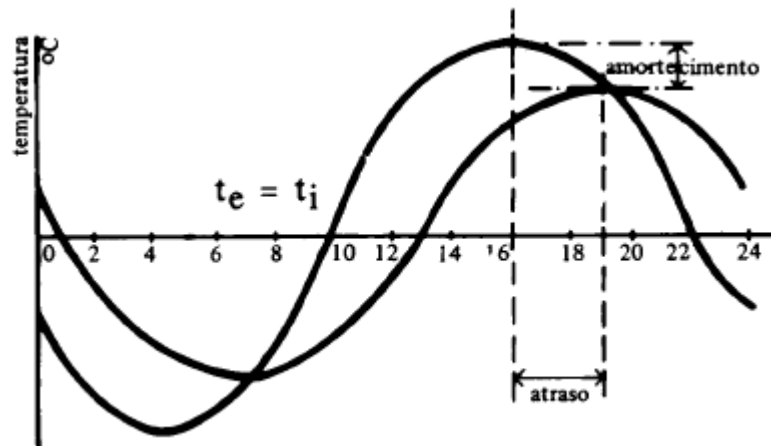


Figura 4 – Exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto (Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001).

2.3 Zona Bioclimática

De acordo com a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações, zona bioclimática é uma “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto térmico”. Cada zona bioclimática possui diretrizes construtivas relativas a abertura, paredes e coberturas de acordo com o clima onde está inserida. A Figura 5 demonstra o zoneamento bioclimático brasileiro.

A separação das zonas bioclimáticas se faz necessária devido ao imenso território do Brasil e ao fato de se localizar entre os dois trópicos, resultando em climas bastante variados. Quando se fala em eficiência energética em edificações um conceito relevante é o microclima, pois é nele que variáveis como vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais do clima. O estudo das variáveis na escala de microclima é fundamental para o desenvolvimento do projeto, pois a partir de particularidades climáticas do local podem-se obter soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética (LAMBERTS et al., 2014).

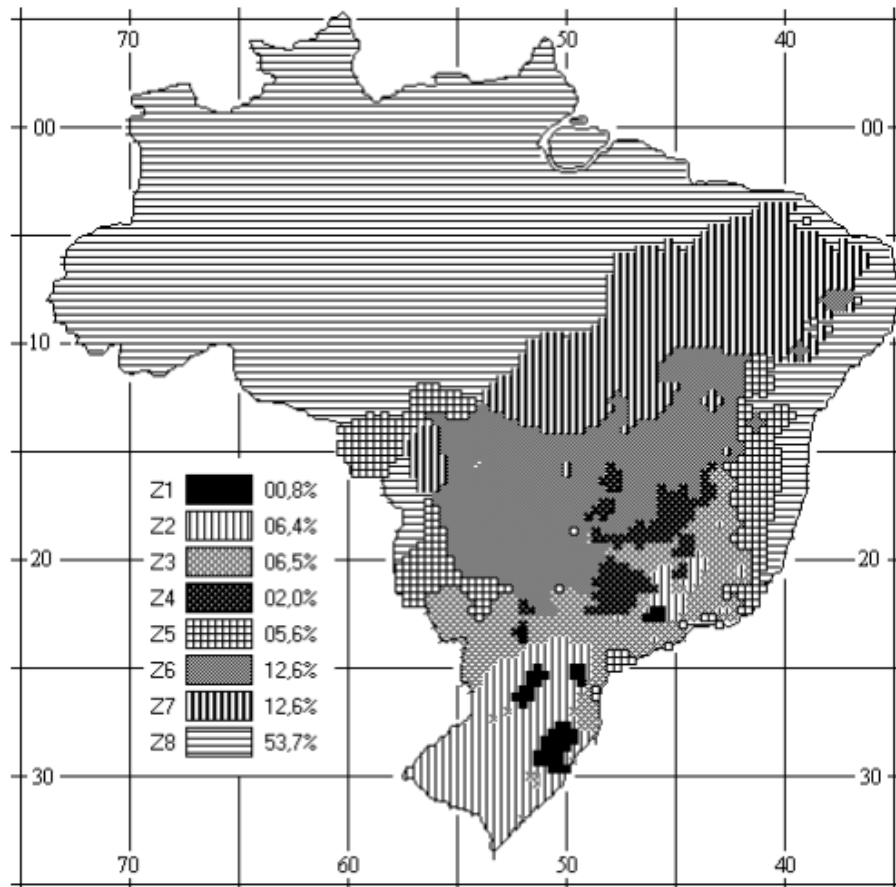


Figura 5 – Zoneamento bioclimático brasileiro (Fonte: NBR 15220).

Quando uma edificação é construída levando em consideração os efeitos do microclima do local os usuários da edificação tendem a estar em conforto térmico em um maior número de horas do ano comparado com edificações construídas não levando em consideração o microclima do local. Segundo a ASHRAE (2005 apud Lamberts et al. 2014, p. 46),

Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico.

2.4 EnergyPlus

Segundo o site do LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC, 2017), programas relacionados à simulação termoenergética de edificações foram mais difundidos a partir da década de 70, após a crise do petróleo e com o aumento da utilização de microcomputadores pessoais. Essa nova ferramenta permitiu que profissionais da área

analisassem fenômenos complexos, como a transferência de calor em edificações, que geralmente envolvem cálculos matriciais e iterações que dificultam a resolução manual.

Os softwares de simulações computacionais são ferramentas eficazes na avaliação do desempenho térmico de edificações, pois apresentam resultados mais rápidos e com um custo mais atraente quando comparado com as demais tecnologias que não envolvam simulação. É importante ressaltar que a maioria dos edifícios comerciais não sabe a participação exata da proporção dos principais consumos energéticos, e a simulação computacional termoenergética pode determinar a visão global da situação energética do edifício (PANESI, 2010).

O *EnergyPlus* é um software de simulação de carga térmica e análise energética que possui suas raízes nos programas BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics) e DOE-2, desenvolvido pelo *Department of Energy* dos EUA (WALLAUER, 2003). O software permite avaliar o desempenho energético dos edifícios, pois proporciona uma análise realista dos fenômenos energéticos que ocorrem nos edifícios em geral. Os resultados que o programa apresenta auxiliam os estudos sobre eficiência energética. É possível determinar as temperaturas internas e externas da edificação, a carga térmica do edifício, a relação parede e área da janela, a determinação da demanda elétrica, o consumo de vários tipos de energia como eletricidades gás, óleo, entre outros (PANESI, 2010).

Outros dois softwares são popularmente usados para simulação térmica: *eQUEST* e *DOMUS*. O *eQUEST* é uma ferramenta acessível e de fácil utilização, o software faz cálculos detalhados de consumo de energia de edificação segundo parâmetros de entrada parecidos com o do *EnergyPlus*. E o software *DOMUS* segue a mesma linha do *eQUEST* e *EnergyPlus*, no entanto, esse ainda calcula a classificação da edificação quanto sua eficiência energética.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização deste trabalho de conclusão de curso. A simulação da planta piloto foi realizada no software *EnergyPlus* versão 8.1. Por ser um software com um alto grau de confiabilidade em seus resultados, ele exige um grande conjunto de parâmetros de entrada. Esses parâmetros serão discutidos detalhadamente nas subseções seguintes.

Inicialmente, a planta piloto bioclimática foi simulada no *EnergyPlus* exatamente como foi construída, com isolamento térmico nas paredes externas e nas coberturas, com uma fachada ventilada, com brises, com o telhado vegetado e o telhado com telhas metálicas

termoacústicas. Após a simulação da planta piloto foi realizada outra simulação da mesma edificação, porém, nesse caso, foram retiradas as estratégias bioclimáticas.

Foram analisados os consumos energéticos de ambas as edificações simuladas, bem como a temperatura das superfícies interna e externa, da edificação, a fim de verificar seu comportamento térmico e foram analisadas, ainda, as horas de conforto térmico.

Para finalizar este estudo, foi simulada a planta piloto com as estratégias bioclimáticas em oito cidades brasileiras, cada uma representando as diferentes zonas bioclimáticas do Brasil, com o intuito de verificar a diferença dos resultados.

3.1 Simulação da planta piloto com estratégias bioclimáticas

Nesta seção estão presentes os principais parâmetros para simulação da planta piloto. Esses parâmetros representam estratégias bioclimáticas, algumas considerações que foram utilizadas e informações como materiais construtivos e funcionamento da edificação.

3.1.1 Parâmetros de entrada

Para realizar a simulação, um dos parâmetros relevantes é a localização que a edificação está inserida, bem como as condições climáticas e meteorológicas do local. Esses dados devem estar incluídos em um arquivo climático da localização da edificação. Para esse caso, foi utilizada um arquivo EPW (*EnergyPlus Weather File*) para a cidade de Araranguá – SC onde a edificação em estudo localiza-se. O arquivo climático utilizado para a simulação foi obtido no site do LABEEE – UFSC e esse arquivo tem como fonte as estações climatológicas da rede INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A edificação em estudo é uma planta piloto bioclimática localizada no campus da UFSC – Araranguá e foi desenvolvida em um projeto de pesquisa do LPA (Laboratório de Pesquisa Aplicada). A planta piloto bioclimática foi entregue para estudo no ano de 2016 e desde então é objeto de diversas pesquisas. A edificação é utilizada todos os dias úteis das 8:00 horas as 18:00 horas, ou seja, não há ocupação no período noturno, nem em finais de semana e feriados.

A planta piloto foi projetada inicialmente no software *Google SketchUp 8* e através do plugin *Open Studio* o *EnergyPlus* consegue ler as informações da construção inseridas no *Google SketchUp*. A edificação foi modelada, neste primeiro momento, levando em

consideração o dimensionamento da edificação, bem como as aberturas e a sua orientação. O desenho da edificação pode ser visualizado na Figura 6.

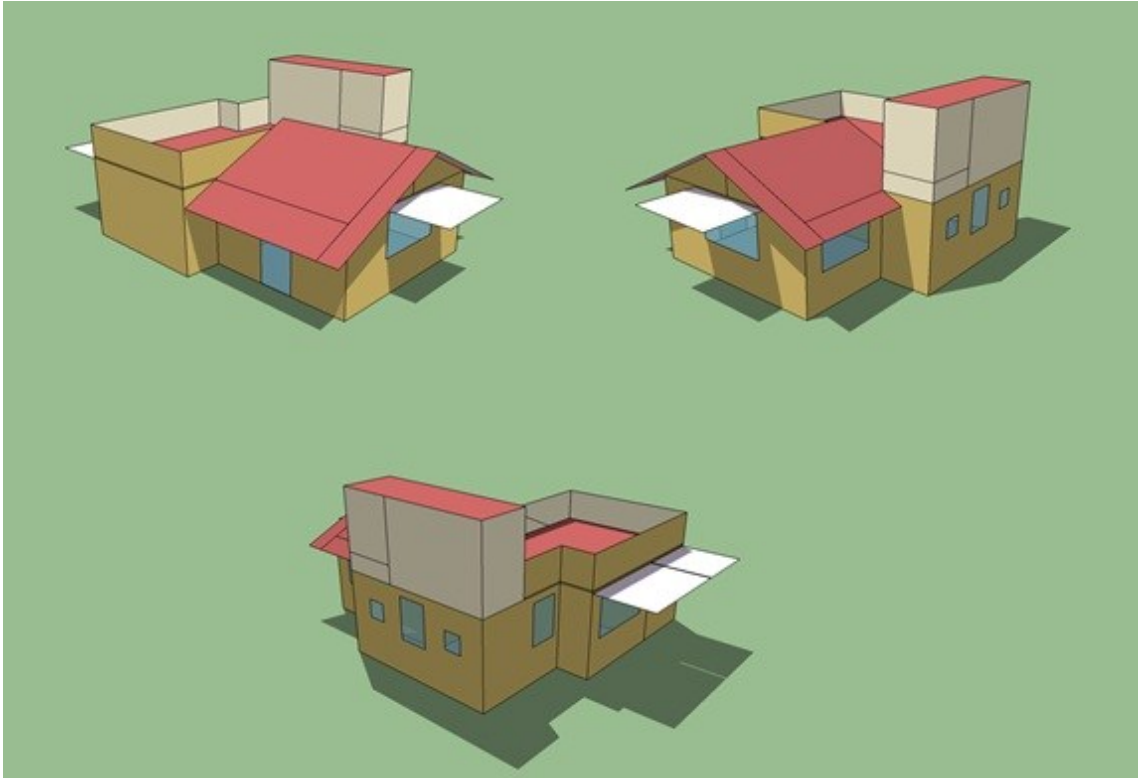


Figura 6 – Desenho da Planta Piloto no *Google SketchUp* (Fonte: do autor).

A edificação foi dividida em quatro zonas térmicas, Zona Térmica 1 (ZT1) que corresponde a sala de entrada da edificação, Zona Térmica 2 (ZT2) que corresponde a sala de trabalho, Zona Térmica 3 (ZT3) onde fica a sala dos equipamentos e, por fim, a Zona Térmica 4 (ZT4) correspondente aos banheiros e a copa. As zonas térmicas foram assim divididas baseadas na ideia de que cada uma dessas zonas pode ter características diferentes, como a temperatura interna por exemplo. A localização das zonas térmicas pode ser verificada na Figura 7.



Figura 7 – Zonas térmicas (Fonte: do autor).

O software *EnergyPlus* identifica através da construção da edificação no *Google SketchUp* com o plugin *Open Studio* quais superfícies estão em contato uma com a outra. Dessa forma, o software consegue verificar as transferências de calor de forma correta, identifica também a cobertura, o chão, quais superfícies possuem aberturas, as superfícies internas e as superfícies externas, que levam em consideração a exposição à radiação solar e ao vento.

Os parâmetros seguintes foram declarados no próprio *EnergyPlus*. O período de execução foi de um ano, iniciado em 01/01 e finalizado em 31/12. O software não permite a escolha do ano, é declarado somente o dia do início do ano que o usuário deseja. A simulação levou em consideração os feriados da cidade de Araranguá, uma vez que a planta piloto funciona apenas em dias úteis, e o horário de verão, visto que isso influencia na utilização da energia elétrica.

A planta piloto tem dois tipos de cobertura, uma cobertura metálica e um telhado vegetado. Devido à presença do telhado vegetado é preciso declarar a precipitação do local e a irrigação do telhado. No caso da irrigação são utilizados dados para descrever a quantidade de irrigação no telhado vegetado ao longo do tempo no período de execução da simulação e é utilizada ainda uma programação inteligente que não permite a irrigação quando o solo já estiver úmido. Essa programação não está implantada na planta piloto construída.

3.1.2 Funcionamento da Planta Piloto

Devido as grandes aberturas das janelas, a iluminação natural torna-se suficiente, como comprovado no estudo de Espíndola (2016). No entanto, foi simulado o uso de 10% da iluminação artificial interna das 08:00 as 18:00 horas, para caso de dias nublados. Em relação a iluminação externa, foi considerada a utilização em sua totalidade todos os dias no período noturno.

A utilização dos equipamentos foi declarada com frações de utilização diferentes ao longo do dia a fim de se aproximar da realidade, exceto dois equipamentos, um computador e um servidor, localizados na ZT2 que permanecem ligados 24 horas. No que se refere à ocupação, foi declarada a utilização da edificação por alunos e professores somente em horário comercial e em dias úteis.

3.1.3 Construção

Os materiais utilizados na construção da planta piloto foram declarados levando em consideração a espessura, condutividade térmica, densidade e calor específico.

A edificação possui três tipos de paredes:

- Paredes externas: compostas por uma camada de argamassa externa com 2,5 cm de espessura, seguida por uma camada de tijolo cerâmico de 11,5 cm de espessura, lâ de rocha com 7 cm de espessura e a camada mais interna composta por placa de gesso cartonado de 1 cm de espessura.
- Paredes internas: compostas por argamassa externa com 2,5 cm de espessura, seguida por camada de tijolo cerâmico com 11,5 cm de espessura e argamassa interna com 2,5 cm de espessura.
- Fachada Ventilada: composta por revestimento cerâmico, uma camada de ar entre o revestimento cerâmico e a argamassa externa da parede, cuja espessura é 2,5 cm, seguido por tijolo cerâmico com 11,5 cm de espessura e argamassa interna com 2,5 cm de espessura.

Em relação à cobertura da edificação, é composta por uma cobertura metálica e um telhado vegetado, a composição de ambas:

- Cobertura metálica: composta por telha metálica com núcleo termo isolante em espuma rígida de poliuretano (PUR), seguida por câmara de ar, laje pré-moldada com fechamento em EPS (poliestireno expandido) de 11 cm de espessura e argamassa interna com 2,5 cm de espessura.
- Telhado vegetado: composto por vegetação, seguida por terra argilosa com 15 cm de espessura, brita com 9 cm de espessura, camada de concreto com 7 cm de espessura, EPS com 10 cm de espessura, laje pré-moldada com fechamento em EPS de 11 cm de espessura e argamassa interna com 2,5 cm de espessura.

Todas as composições das camadas da construção e suas respectivas espessuras foram retiradas de Guerra (2016). As Tabelas 1 e 2 apresentam propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção da planta piloto.

Tabela 1- Propriedades Térmicas dos materiais das paredes.

| Material | Condutividade (W/m.K) | Densidade (kg/m³) | Calor Específico (J/kg.K) | Referência Utilizada |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Argamassa | 1,15 | 2000 | 1000 | LabEEE, 2011 |
| Lã de Rocha | 0,045 | 100 | 750 | Mendonça, 2005 |
| Placa de gesso | 0.35 | 750 | 840 | LabEEE, 2011 |
| Revestimento Cerâmico | 1,05 | 2000 | 920 | LabEEE, 2011 |
| Tijolo Cerâmico | 0,9 | 1600 | 920 | LabEEE, 2011 |

Fonte: do autor

Tabela 2 - Propriedades Térmicas dos materiais das coberturas.

| Material | Condutividade (W/m.K) | Densidade (kg/m³) | Calor Específico (J/kg.K) | Referência Utilizada |
|------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Argamassa | 1.15 | 2000 | 1000 | LabEEE, 2011 |
| Brita | 0,70 | 1500 | 940 | Mendonça, 2005 |
| Concreto | 1,75 | 2200 | 1000 | LabEEE, 2011 |
| EPS | 0,040 | 22,5 | 1550 | Mendonça, 2005 |
| Laje pré-moldada | 1,75 | 2200 | 1000 | LabEEE, 2011 |
| Poliuretano | 0,030 | 35 | 1045 | Mendonça, 2005 |
| Telha Metálica | 55 | 7800 | 460 | LabEEE, 2011 |

Fonte: do autor

O exterior e interior da planta piloto tem coloração na cor branca, exceto a fachada ventilada que permaneceu com a cor da cerâmica, essa é uma informação importante para declarar a absorvância à radiação solar. Segundo a NBR 15220 a absorvância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Como o material mais externo da edificação é a argamassa foi atribuída a esse material uma absorvância solar de 0,20. O mesmo ocorreu para a argamassa do interior da edificação e a placa de gesso. A cerâmica apresenta uma coloração mais escura e a essa foi atribuído um valor de 0,70 de absorvância solar.

O chão da edificação é feito de concreto simples com 0,10 m de espessura sobre aterro previamente compactado e piso de cerâmica. Os vidros utilizados na edificação são vidros convencionais. Os brises utilizados são horizontais e fixos e, foram construídos de madeira, estão presentes na ZT1, ZT2 e ZT3.

3.1.4 Telhado Vegetado

O telhado vegetado leva em consideração a altura das plantas. Para esse valor foi utilizado o recomendado pelo *EnergyPlus*, 0,2 m. As outras entradas para a simulação do telhado vegetado são exemplificadas na sequência. As explicações para cada campo foram baseadas nos documentos auxiliares de ajuda do software, *Input Output Reference* (*EnergyPlus*, 2013).

- Índice de área foliar: representa a área foliar projetada por unidade de área da superfície do solo. O valor utilizado foi 1, recomendado pelo software.
- Refletividade da folha: representa a fração da radiação solar incidente que é refletida pelas superfícies foliares individuais (albedo). Utilizou-se o valor recomendado, 0,22.
- Emissividade do solo: razão entre a radiação térmica emitida pelas superfícies foliares e a radiação térmica emitida por um corpo negro ideal à mesma temperatura. Esse parâmetro é usado para calcular a troca radiante de comprimento de onda longo nas superfícies foliares. O valor utilizado foi o recomendado, 0,95.
- Resistência estomática mínima: representa a resistência das plantas ao transporte de umidade e tem unidade de s/m. Plantas com baixos valores de resistência estomática resultarão em maiores taxas de evapotranspiração do que plantas com alta resistência. Foi utilizado o valor padrão de 180.

Em relação à camada do solo, foi utilizada uma camada de 0,15 m de espessura e as demais entradas são exemplificadas na sequência. As explicações de cada campo foram consultadas em um dos documentos auxiliares de ajuda do software, *Input Output Reference* (*EnergyPlus*, 2013).

- Condutividade do solo seco: campo utilizado para introduzir a condutividade térmica da camada do material. Foi utilizado o valor padrão recomendado pelo software de 0,35 W/mK.
- Densidade do solo seco: campo utilizado para introduzir a densidade de material em unidades de kg/m³ e o padrão é 1100 kg/m³, recomendado pelo software.
- Calor específico do solo seco: campo que representa o calor específico da camada do solo em J/kgK. O valor utilizado foi o valor padrão recomendado pelo software, 1200 J/kgK.

- Absorção térmica: representa a fração de radiação de comprimento de onda longo incidente que é absorvida pelo material. Os valores típicos segundo o software são de 0,8 a 1,0, foi utilizado então o valor de 0,9.
- Absorção solar: representa a fração de radiação solar incidente que é absorvida pelo material. A radiação solar inclui o espectro visível bem como os comprimentos de onda infravermelho e ultravioleta. Os valores para esse campo devem estar entre 0,4 e 0,9, e o utilizado na simulação foi 0,7.
- Absorção visível: representa a fração da radiação incidente de comprimento de onda visível que é absorvida pelo material. Os valores para esse campo devem estar entre 0,5 e 1,0 e o valor utilizado foi 0,75.
- Teor Volumétrico de saturação de umidade da camada do solo: permite a entrada do teor de umidade de saturação da camada do solo. O teor máximo de umidade é tipicamente inferior a 0,5, foi utilizado o valor recomendado que é 0,3.
- Teor volumétrico residual de umidade da camada do solo: permite a entrada do teor de umidade residual da camada do solo. O valor utilizado foi 0,01 que é o valor padrão recomendado.
- Teor volumétrico de umidade inicial da camada do solo: intervalo aceitável está entre 0,05 a 0,5 e o valor padrão é 0,1 que foi o valor utilizado.

3.1.5 Ganhos Internos

Esta subsecção expõe os ganhos internos da planta piloto que influenciam diretamente no consumo de energia. Os principais ganhos internos são os ganhos devido à presença de pessoas dentro da edificação, a utilização de iluminação artificial e aos equipamentos elétricos.

3.1.5.1 Perfil de Ocupação

No que se refere à ocupação da edificação foi considerado um número médio de 10 pessoas por dia, 3 pessoas na sala de entrada (ZT1) e 7 pessoas na sala de trabalho (ZT2). Foi considerada a fração radiante de 0,5 nos ambientes que possuem a presença de pessoas. A fração radiante é usada para caracterizar o tipo de energia radiante que é emitido pelas pessoas em uma determinada zona (*Input Output Reference*, 2013).

Outro dado de entrada importante a ser registrado é o nível de atividade que as pessoas exercem. Esse campo determina a quantidade de ganho de calor por pessoa em cada zona térmica (*Input Output Reference*, 2013). No caso dessa edificação a atividade exercida por todas as pessoas é a atividade de escritório. No entanto, cada atividade de escritório possui um ganho térmico diferente, sendo que para essa simulação foi considerado um valor médio de 120 W/pessoa (ASHRAE, 2005).

3.1.5.2 Iluminação

O campo de iluminação permite especificar as informações sobre o sistema de iluminação elétrica da edificação, incluindo a potência instalada em cada zona e como é a utilização do sistema de iluminação. A Tabela 3 exemplifica a potência instalada total de cada zona térmica. Como explicado na seção 3.2, a iluminação natural é suficiente para realizar um trabalho adequado dentro da edificação. No entanto, foi declarada a utilização de 10 % da potência total instalada para todos os dias que a planta piloto funciona, para eventuais casos em que a iluminação natural não seja suficiente.

Tabela 3 – Potência total da iluminação instalada.

| Zona Térmica | ZT1 | ZT2 | ZT3 | ZT4 |
|--------------|-------|-------|------|-----|
| Potência (w) | 223,6 | 127,6 | 95,7 | 75 |

Fonte: do autor

Além da iluminação artificial interior, que é pouco utilizada nessa edificação, há também a iluminação artificial no lado exterior da edificação. A iluminação na parte externa funciona todos os dias no período noturno. Essa iluminação foi programada para funcionar quando o sol se põe até quando o sol nasce novamente. O total da potência instalada da iluminação externa é 108 W.

3.1.5.3 Equipamentos

Os equipamentos são declarados por zona. Os parâmetros principais são a potência dos equipamentos em cada zona e o horário de funcionamento. Os equipamentos funcionam apenas no horário comercial, exceto o servidor e um computador, localizados na sala de equipamentos, que funcionam 24 h. Os equipamentos com suas respectivas potências estão listados da Tabela 4.

Tabela 4 - Aparelhos Consumidores de energia elétrica.

| Equipamento | Quantidade | Potência (W) | Total |
|-----------------------------|------------|--------------|-------|
| Sala de entrada | | | |
| Computador | 3 | 55 | 165 |
| Monitor 19 a 20 pol. | 3 | 80 | 240 |
| Impressora a Laser | 1 | 320 | 320 |
| Ar-condicionado | 1 | 1085 | 1085 |
| Sala de equipamentos | | | |
| Computador | 1 | 55 | 55 |
| Monitor 19 à 20 pol. | 1 | 80 | 80 |
| Servidor | 1 | 495 | 495 |
| No break | 1 | 100 | 100 |
| Outros | 1 | 100 | 100 |
| Sala de trabalho | | | |
| Notebook | 7 | 55 | 385 |
| Ar-condicionado | 1 | 1175 | 1175 |
| Demais cômodos | | | |
| Geladeira | 1 | 200 | 200 |
| Cafeteira | 1 | 800 | 800 |
| Bebedouro | 1 | 150 | 150 |

Fonte: (ESPÍNDOLA, 2016, adaptado)

3.1.6 Fluxo de ar

Nesta seção será tratada a infiltração das zonas. A infiltração pode ser explicada como sendo o fluxo não intencional de ar do ambiente exterior diretamente para uma zona térmica. É geralmente causada pela abertura e fechamento de portas exteriores, rachaduras em torno de janelas e até mesmo em quantidades muito pequenas através de elementos de construção (*Input Output Reference*, 2013). Para calcular o fluxo de ar foi utilizado um número de troca de ar por hora, esse valor é usado juntamente com o volume de cada zona para determinar o fluxo de ar.

3.1.7 Ar condicionado

As zonas térmicas que possuem ar condicionado na edificação são a sala de entrada e a sala de trabalho. As demais zonas térmicas são utilizadas como áreas de transição e não

precisam ter o controle de temperatura. O modelo utilizado é o Split e é utilizado um aparelho para cada zona térmica condicionada. Os aparelhos são utilizados, na maioria das vezes, para resfriar os ambientes condicionados. Por isso, sua utilização é muito maior nas estações mais quentes do ano e nas horas de maior temperatura ambiente.

O software define automaticamente a taxa de fluxo de ar máxima do sistema. Foi declarado o fluxo de ar externo por pessoa $0.0075 \text{ m}^3/\text{s}$ que atende o valor mínimo de $27 \text{ m}^3/\text{h}$ por pessoa (LabEEE, 2009).

3.2 Simulação da edificação sem as estratégias bioclimáticas

Para simular a edificação sem as estratégias bioclimáticas foram retirados da planta piloto os brises, o isolamento térmico das paredes e coberturas, a fachada ventilada, o telhado vegetado e o as telhas termoacústicas, ou seja, foi simulada a edificação como a maioria das edificações são construídas no país. As paredes internas e externas são compostas por argamassa, tijolo e argamassa, e pintadas na cor branca tanto no exterior quanto no interior da parede. A cobertura é composta por telha de amianto, câmara de ar, laje e argamassa.

3.3 Simulação da planta piloto nas diferentes zonas bioclimáticas

Para esta etapa do trabalho, foram escolhidas oito cidades brasileiras, cada cidade localizada em uma zona bioclimática, como segue:

- Zona Bioclimática 1: São Joaquim – SC;
- Zona Bioclimática 2: Teresópolis – RJ;
- Zona Bioclimática 3: Florianópolis – SC;
- Zona Bioclimática 4: Brasília – Distrito Federal;
- Zona Bioclimática 5: Governador Valadares – MG;
- Zona Bioclimática 6: Rio Verde – GO;
- Zona Bioclimática 7: Cuiabá – MT;
- Zona Bioclimática 8: Belém – PA.

A planta piloto bioclimática está localizada na zona bioclimática 2. O que foi alterado em relação à simulação da planta piloto bioclimática foi somente o arquivo climático, este retirado da mesma fonte que o arquivo climático de Araranguá. As demais informações permaneceram as mesmas, inclusive o arquivo de precipitação que não foi alterado em virtude

de sua complexibilidade. Então, cada uma das oito cidades escolhidas foi simulada com os parâmetros da planta bioclimática, e com seus respectivos arquivos climáticos, com exceção dos dados de precipitação que todos foram iguais aos da cidade de Araranguá.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão demonstrados os resultados obtidos em todas as simulações em estudo. Inicialmente mostram-se os resultados da simulação da planta piloto com as estratégias bioclimáticas. Os principais resultados são o consumo anual de energia elétrica e o desempenho térmico das superfícies. Esses mesmos resultados foram obtidos também para a edificação sem as estratégias bioclimáticas. Posteriormente é realizada uma comparação e análise da planta piloto, com e sem as estratégias bioclimáticas.

Para finalizar este capítulo, são discutidos os resultados das simulações da planta piloto nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

4.1 Simulação da planta piloto com estratégias bioclimáticas

O resumo anual de desempenho da edificação resultou em um total de energia elétrica de 16.954,59 kWh ao longo de um ano. Na Tabela 5 é exemplificado esse consumo nos seus diferentes usos na edificação. Observa-se que os equipamentos no interior da edificação são os responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica, seguido pelo ar condicionado para resfriar os ambientes e pela iluminação artificial no exterior na edificação. O consumo de energia elétrica da iluminação artificial no interior da edificação é mínimo levando em consideração que na edificação em estudo é utilizada a iluminação natural no período de ocupação e funcionamento da mesma. A diferença da utilização do ar condicionado para resfriamento e para aquecimento se dá porque a cidade de Araranguá, onde é localizada a planta piloto, tem um clima quente e temperado, não sendo necessário, na maior parte do ano, aquecer artificialmente a edificação.

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica na planta piloto.

| | Consumo (kWh) |
|--------------------------------|---------------|
| Aquecimento | 19,29 |
| Resfriamento | 1457,77 |
| Iluminação Interna | 130,47 |
| Iluminação Externa | 362,38 |
| Equipamentos Interiores | 14658,00 |
| Equipamentos Exteriores | 0 |
| Ventilação | 326,68 |

Fonte: do autor

4.1.1 Análise da construção

Para a análise de desempenho termoenergético da planta piloto foram utilizados dados de simulação para o dia 21 de dezembro, data que ocorre o solstício de verão no hemisfério sul e para o dia 21 de junho, data que ocorre o solstício de inverno no hemisfério sul. A Figura 8 apresenta o comportamento da temperatura da parede externa norte, que possui isolamento térmico. Pode-se observar que a temperatura na superfície interior varia entre 22,09 °C, verificada as 6:00 horas, e 28,05 °C, verificada as 16:00 horas. Na superfície exterior, a temperatura varia entre 23,14 °C, verificada as 6:00 horas, e 30,50 °C, verificada as 15:00 horas. O maior amortecimento térmico foi de 5,05 °C as 14:00 horas, maior diferença de temperatura entre as superfícies ao longo do dia.

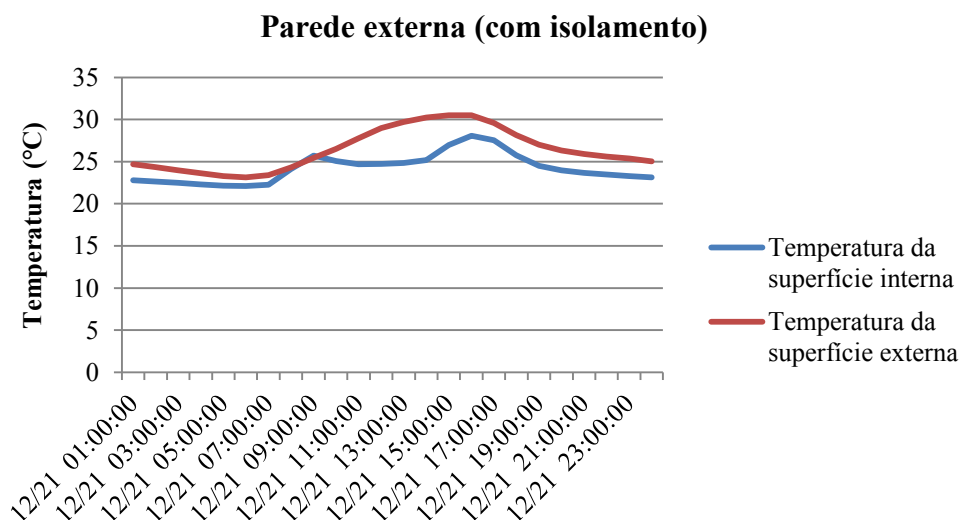


Figura 8 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa da edificação no solstício de verão (Fonte: do autor).

A fachada ventilada apresentou uma amplitude maior de temperatura na superfície externa como mostra a Figura 9, chegando a uma amplitude de 17,12 °C ao longo do dia. Já a amplitude térmica da superfície interior foi de 3,82 °C.

É importante ressaltar que para a simulação da fachada ventilada não foi possível declarar a espessura da camada de ar, somente a resistência térmica do ar e o valor dessa resistência foi de 0,15 m²K/W. O *EnergyPlus* tem a opção de declarar a camada de ar da mesma maneira que se declara a camada de qualquer outro material. O maior amortecimento térmico para a fachada ventilada, no solstício de verão, foi 11,52 °C e ocorreu as 14:00 horas.

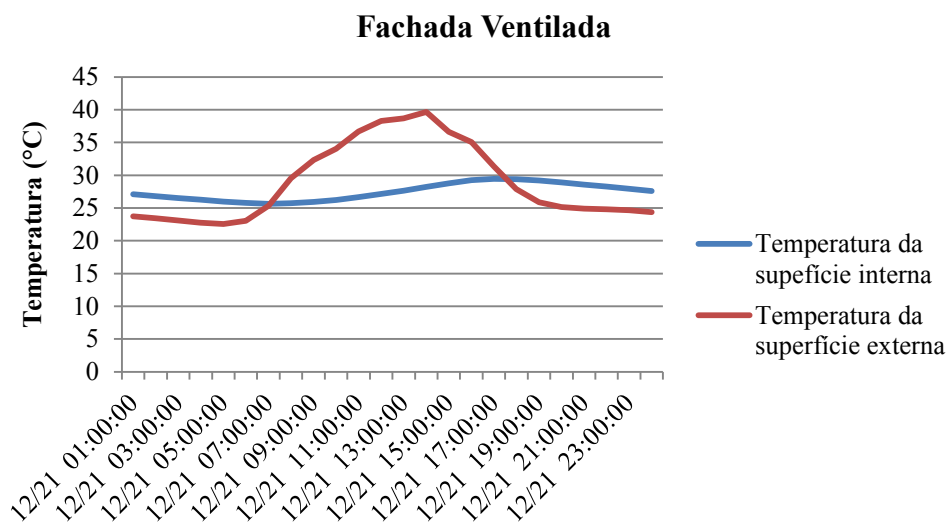


Figura 9 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da fachada ventilada no solstício de verão (Fonte: do autor).

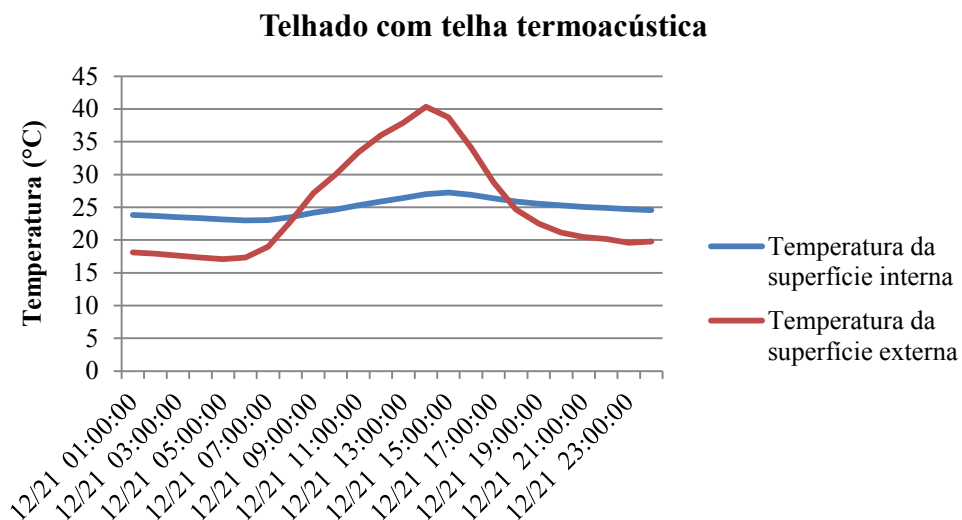


Figura 10 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado com telha termoacústica no solstício de verão (Fonte: do autor).

No telhado com telha termoacústica observa-se uma amplitude térmica da superfície exterior de 23,27 °C, e uma amplitude térmica da superfície interior da ordem de 4,24 °C, sendo que o maior amortecimento térmico foi de 13,34 °C e ocorreu as 14:00 horas, como pode ser observado na Figura 10.

No telhado vegetado o maior amortecimento térmico foi de 21,38 °C e ocorreu as 14:00 horas. Na superfície interna a menor temperatura foi de 25,55 °C registrada as 10:00 horas e a maior foi de 27,02 °C registrada as 20:00 horas, ou seja, na superfície interna do telhado vegetado a temperatura variou 1,47 °C ao longo de um dia.

Na superfície externa, ou seja, na vegetação do telhado foi registrada a menor temperatura, 21,89 °C, as 5:00 horas e a maior temperatura, 47,47 °C, as 14:00 horas, implicando em uma variação de 25,58 °C ao longo do dia. O comportamento da temperatura das superfícies, externa e interna, do telhado vegetado para o solstício de verão é apresentado na Figura 11.

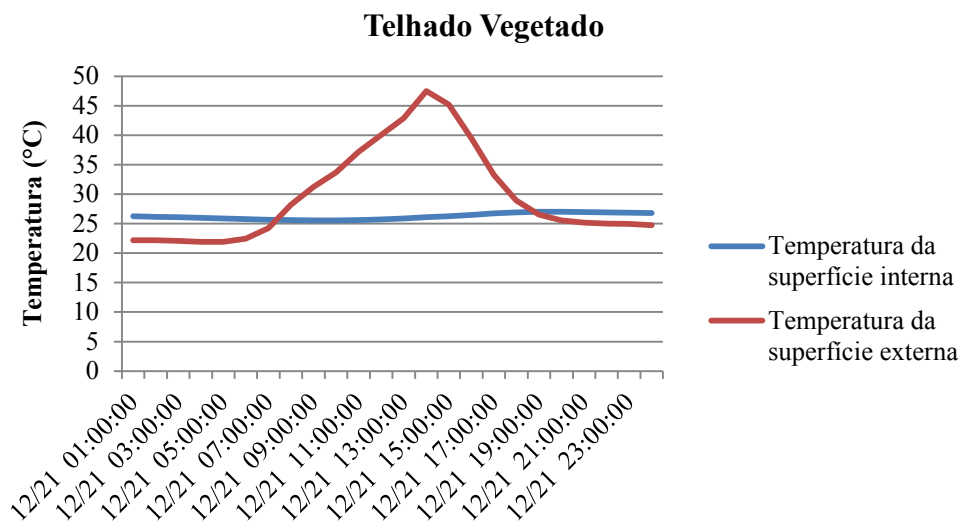


Figura 11 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado vegetado no solstício de verão (Fonte: do autor).

Uma análise similar foi realizada para o dia 21 de junho, dia do solstício de inverno no hemisfério sul. Na Figura 12 pode-se observar o comportamento térmico da parede externa da edificação. Como esperado, a temperatura da superfície interna é maior que a temperatura da superfície externa. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de 15,43 °C, as 8:00 horas, enquanto que a menor temperatura registrada na superfície externa foi de 10,11 °C, também as 8:00 horas. A maior temperatura registrada na superfície interna foi de 23,21°C, as 17:00 horas, enquanto que na superfície externa a maior temperatura registrada

foi de 21,41, as 16:00 horas. O maior amortecimento térmico ocorreu as 9:00 horas e foi de 5,88 °C.

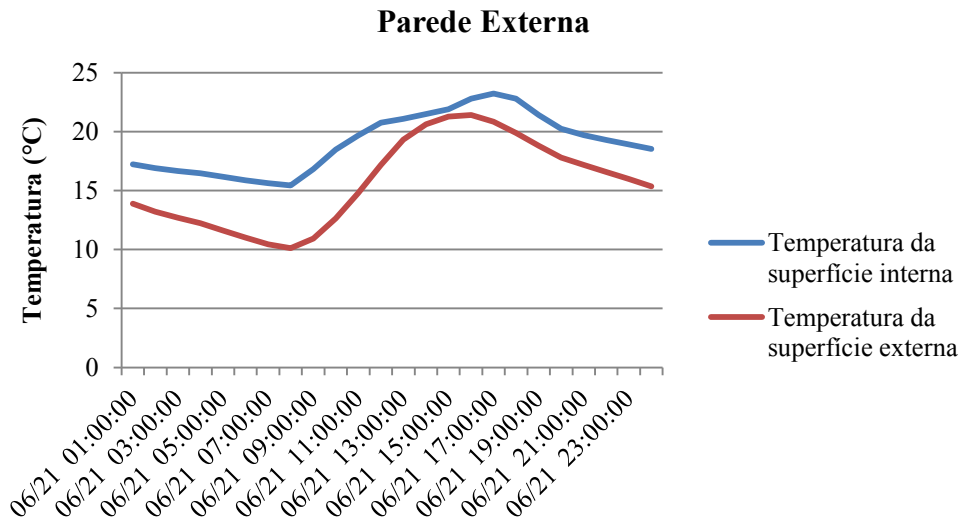


Figura 12 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa no solstício de inverno (Fonte: do autor).

A Figura 13 apresenta o comportamento térmico das superfícies, externa e interna, da fachada ventilada para a condição de inverno. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de 17,95 °C, as 9:00 horas, enquanto que a menor temperatura na superfície externa foi de 9,99 °C, as 7:00 horas.

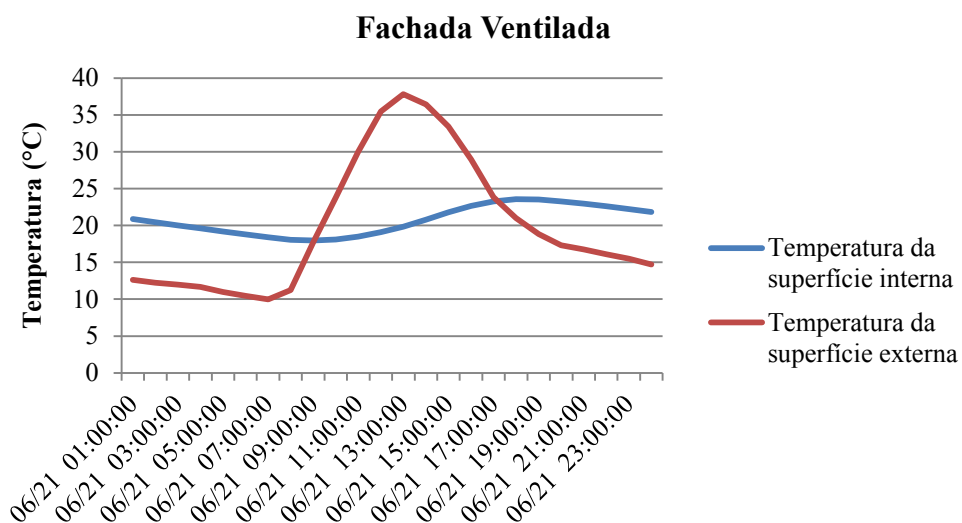


Figura 13 - Temperaturas das superfícies, interna e externa, da fachada ventilada no solstício de inverno (Fonte: do autor).

A maior temperatura na superfície interna foi de 23,57 °C, as 18:00 horas, enquanto a maior temperatura na superfície externa foi da ordem de 37,80 °C, as 13:00 horas. O maior amortecimento térmico ocorreu as 13:00 horas e foi de aproximadamente 17,95 °C.

O comportamento térmico das superfícies, externa e interna, do telhado com telha termoacústica é apresentado na Figura 14. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de aproximadamente 12,40 °C, as 8:00 horas, enquanto a menor temperatura na superfície externa foi da ordem de 1,54 °C.

A maior temperatura registrada na superfície interna foi de aproximadamente 16,62 °C as 16:00 horas, enquanto que a maior temperatura registrada na superfície externa foi da ordem de 25,76 °C as 14:00 horas. O maior amortecimento térmico ocorreu as 6:00 horas e foi de aproximadamente 10,9 °C.

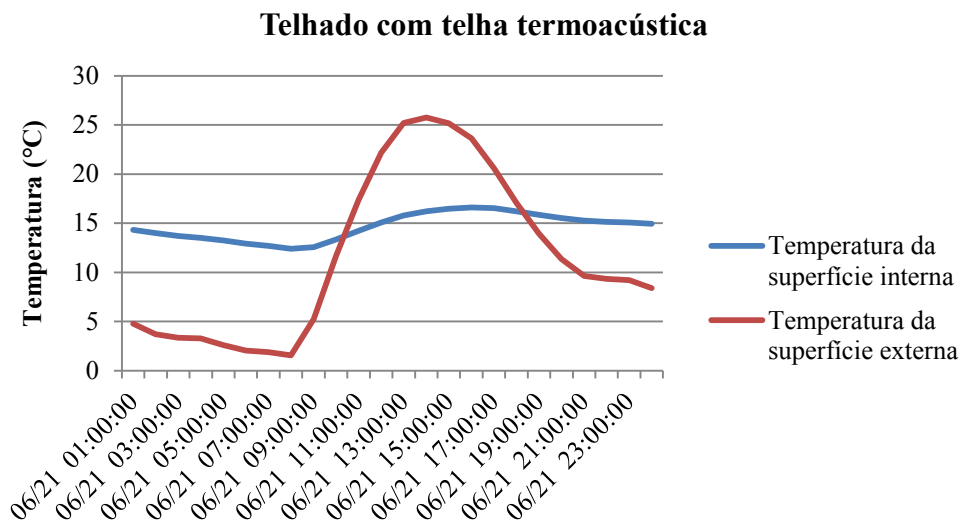


Figura 14 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado com telha termoacústica (Fonte: do autor).

O comportamento térmico do telhado vegetado para a condição de inverno pode ser observado na Figura 15. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de 15,78 °C as 11:00 horas, enquanto que na superfície externa a menor temperatura, 8,32°C, foi registrada as 7:00 horas. As maiores temperaturas registradas nas superfícies, interna e externa, foram de 17,47 °C as 22:00 horas e 29,09 °C as 14:00 horas, respectivamente. O maior amortecimento térmico foi de 13,09 °C registrado as 14:00 horas.

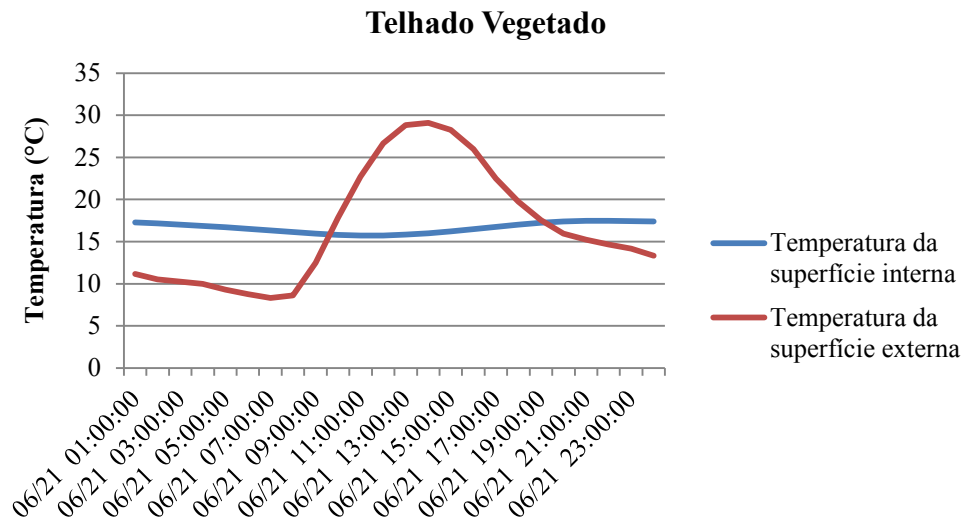


Figura 15 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado vegetado no solstício de inverno (Fonte: do autor).

4.2 Simulação da edificação sem as estratégias bioclimáticas

O consumo anual de energia elétrica registrada para essa edificação sem as estratégias bioclimáticas foi de 17.191,52 kWh ao longo de um ano, 236,93 kWh maior que na simulação anterior. É importante ressaltar que o funcionamento da edificação é o mesmo, ou seja, com as mesmas cargas térmicas, sendo que foram alterados somente os aspectos construtivos da edificação. Esse aumento de consumo registrado pode ser explicado pelo consumo maior de ar condicionado, como exemplificado na Tabela 6, uma vez que a edificação sem as estratégias bioclimáticas não possui o mesmo comportamento térmico que a planta piloto com as estratégias bioclimáticas.

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica na planta piloto sem as estratégias bioclimáticas.

| | Consumo (kWh) |
|--------------------------------|----------------------|
| Aquecimento | 63,67 |
| Resfriamento | 1524,12 |
| Iluminação Interna | 130,47 |
| Iluminação Externa | 362,38 |
| Equipamentos Interiores | 14658,00 |
| Equipamentos Exteriores | 0 |
| Ventilação | 452,87 |

Fonte: do autor

4.2.1 Análise da construção

O procedimento de análise é similar, sendo considerado para apresentação do comportamento térmico os dias de solstício de verão e inverno. Na Figura 16 pode ser observado o comportamento térmico, para o solstício de verão, da mesma parede externa analisada na seção anterior. Porém nesta seção a parede não possui isolamento térmico. A menor temperatura registrada na superfície interior foi de 23,71 °C, verificada as 7:00 horas, e a maior foi de 28,58 °C, verificada as 17:00 horas. Logo, a amplitude térmica da superfície interior foi de 4,87 °C ao longo do dia.

Na superfície externa a temperatura variou de 23,02 °C, temperatura verificada as 6:00 horas, a 29,86 °C, temperatura verificada as 16:00, logo, a amplitude térmica da superfície exterior foi de 6,84 °C ao longo do dia e o maior amortecimento térmico foi de 3,54 °C ocorrida as 13:00 horas.

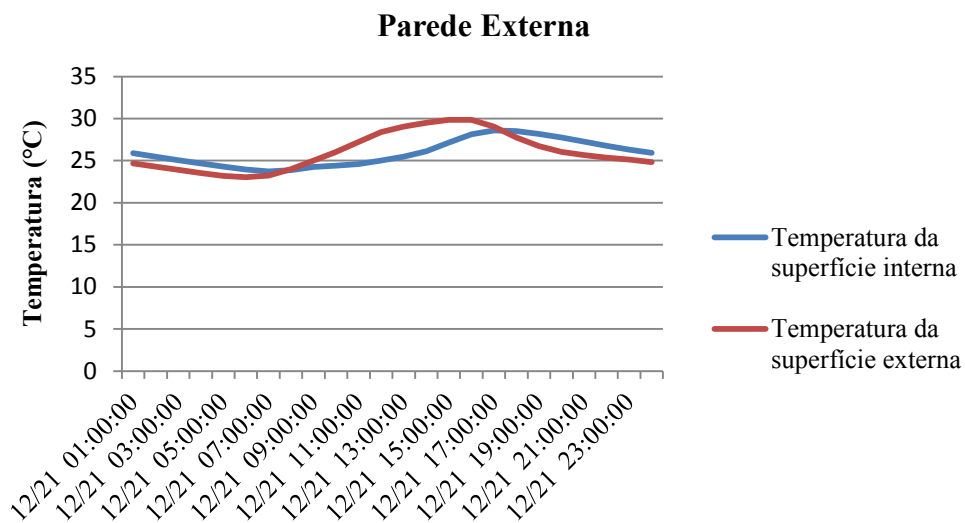


Figura 16 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa no solstício de verão (Fonte: do autor).

A Figura 17 apresenta o comportamento térmico, para o solstício de verão, da parede externa onde estava a fachada ventilada na análise da seção anterior.

A temperatura da superfície interna possui o mesmo comportamento da temperatura da superfície externa, porém com um atraso térmico. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de 25,24 °C as 7:00 horas e a maior foi de 29,50 °C as 18:00 horas, tendo uma amplitude térmica de 4,26 °C ao longo do dia. Na superfície externa a menor temperatura registrada foi de 23,56 °C as 6:00 horas e a maior 30,55 °C as 15:00 horas, e a

amplitude térmica ao longo do dia foi de 6,99 °C. O maior amortecimento térmico foi de 2,32 °C registrada as 13:00 horas.

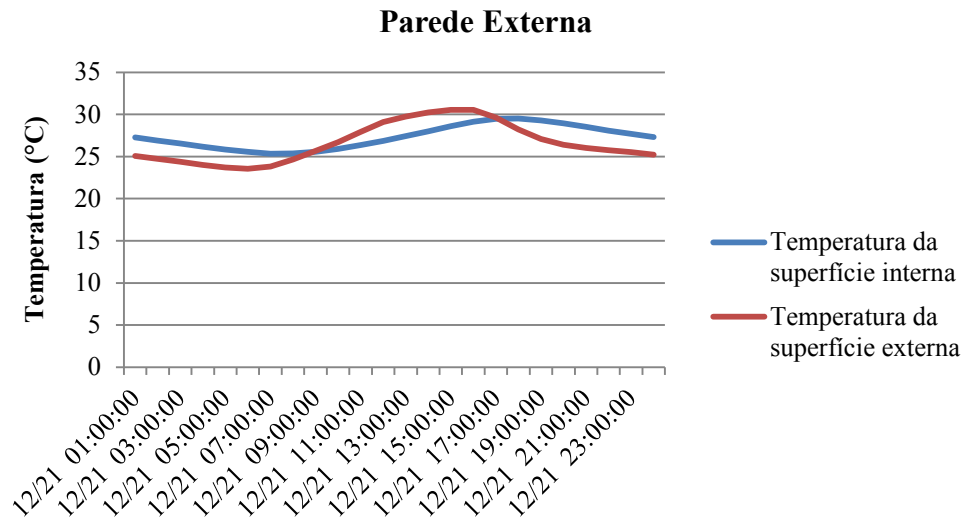


Figura 17 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa (antiga fachada ventilada) no solstício de verão (Fonte: do autor).

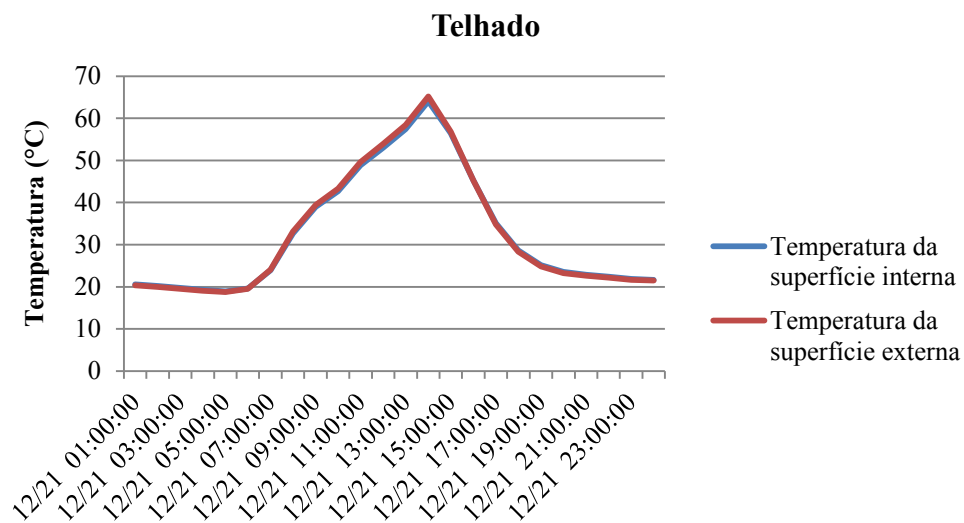


Figura 18 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado de amianto no solstício de verão (Fonte: do autor).

A Figura 18 apresenta o comportamento térmico, para o solstício de verão, do telhado da edificação. O telhado analisado nesta seção é um telhado comum de fibrocimento e como pode ser observado a variação de temperatura é mínima entre as superfícies. A menor temperatura registrada na superfície interna foi 18,89 °C e a na superfície externa 18,71 °C, ambas registradas as 5:00 horas. A maior temperatura registrada na superfície interna foi de 64,07 °C e na superfície externa de 65,21 °C, ambas registradas as 14:00 horas, ou seja, o

maior amortecimento térmico foi de 1,14 °C registrado também as 14:00 horas e a amplitude térmica ao longo do dia chegou a 46,50 °C na superfície externa.

As Figuras 19, 20 e 21 apresentam o comportamento térmico das paredes e telhado da edificação para o solstício de inverno. A Figura 19 apresenta o comportamento térmico da parede externa da edificação para o solstício de inverno. A superfície interna apresenta a menor temperatura registrada ao longo do dia, 14,01 °C, as 9:00 horas e a menor temperatura na superfície externa, 10,52 °C, foi registrada as 8:00 horas. A maior temperatura registrada na superfície interna foi de 21,06 °C as 18:00 horas, enquanto que na superfície externa a maior temperatura foi de 22,03 °C as 16:00 horas, resultando em um amortecimento térmico máximo de 3,62 °C registrado as 14:00 horas.

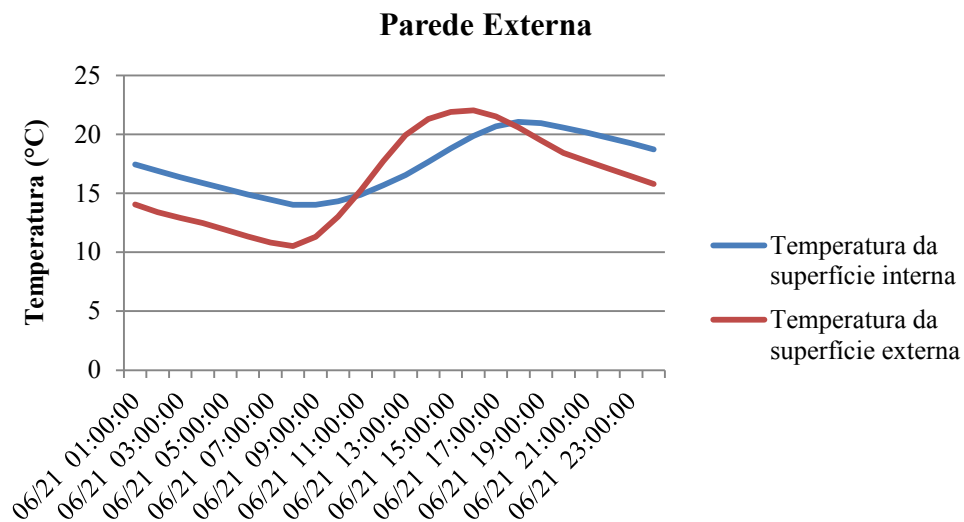


Figura 19 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa no solstício de inverno (Fonte: do autor).

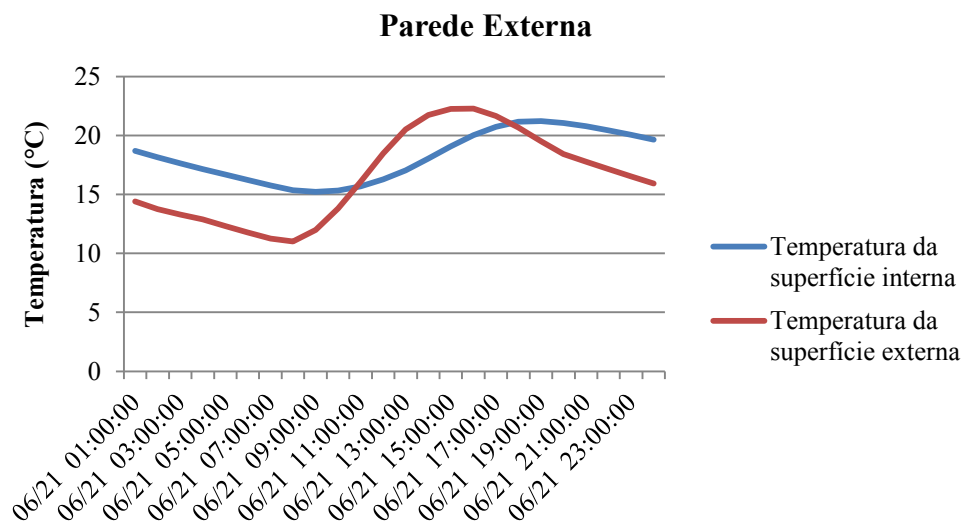


Figura 20 – Temperaturas das superfícies, interna e externa, da parede externa (antiga fachada ventilada) no solstício de inverno (Fonte: do autor).

A Figura 20 refere-se também a parede externa, no entanto essa parede está localizada onde era a fachada ventilada na análise da seção anterior. A menor temperatura registrada na superfície interna foi de 15,22 °C as 9:00 horas e na superfície externa foi de 11,01 °C as 8:00 horas. Na superfície interna, a maior temperatura registrada ao longo do dia foi de 21,22 °C as 19:00 horas, enquanto na superfície externa foi de 22,27 °C as 16:00 horas. O maior amortecimento térmico foi de 4,52 °C e ocorreu as 7:00 horas.

O comportamento térmico, para o solstício de inverno, do telhado de amianto é apresentado na Figura 21. Como pode ser observado, assim como no verão, as temperaturas interna e externa são quase as mesmas ao longo do dia. A menor temperatura registrada na superfície interna e externa foi de 4,23 °C e 3,98 °C, respectivamente. Ambas ocorreram as 7:00 horas, enquanto que a maior temperatura registrada na superfície interna e externa foi de 36,80 °C e 37,61 °C, respectivamente, ambas as 13:00 horas. O maior amortecimento térmico foi de apenas 0,85 °C registrado as 12:00 horas.

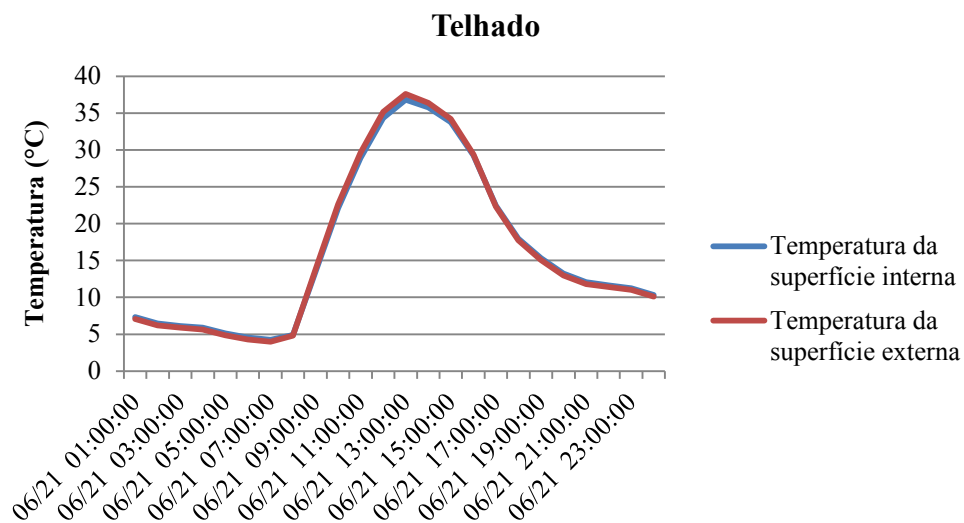


Figura 21 - Temperaturas das superfícies, interna e externa, do telhado de amianto no solstício de inverno (Fonte: do autor).

4.3 Comparação e análise dos resultados da edificação, com e sem, estratégias bioclimáticas

Os resultados das simulações da seção anterior comprovaram que as estratégias bioclimáticas utilizadas na planta piloto melhoram o comportamento térmico da edificação quando comparado com a mesma edificação sem as estratégias bioclimáticas. Ou seja, o isolamento térmico utilizado na construção, a fachada ventilada, o telhado vegetado e com

telhado termoacústico apresentam um desempenho térmico superior ao caso sem estratégias bioclimáticas.

A análise para a condição de solstício de verão mostrou que a planta piloto com as estratégias bioclimáticas apresentou um amortecimento térmico de $5,05^{\circ}\text{C}$ na parede externa, enquanto que sem as estratégias bioclimáticas esse amortecimento foi de apenas $3,54^{\circ}\text{C}$. Embora a diferença seja pequena, ela existe e comprova que de fato o isolamento térmico diminui as amplitudes térmicas dos ambientes internos. Outro fato que comprova os benefícios do isolamento térmico é que a temperatura da superfície interna da planta piloto com as estratégias bioclimáticas não ultrapassa a temperatura da superfície externa ao longo do dia, ao contrário da edificação sem as estratégias bioclimáticas que a temperatura da superfície interna ultrapassa a temperatura da superfície externa no início e fim do dia.

A temperatura da superfície externa da fachada ventilada variou bastante ao longo do dia, resultado já esperado uma vez que uma das características da fachada ventilada é apresentar grandes variações de temperatura no seu exterior. A temperatura na superfície exterior variou $17,12^{\circ}\text{C}$ enquanto que na superfície interior variou apenas $3,82^{\circ}\text{C}$. A temperatura da superfície interior da mesma parede sem as estratégias bioclimáticas variou $4,16^{\circ}\text{C}$. A fachada ventilada apresentou um pequeno decréscimo da temperatura na superfície interna quando comparado às duas simulações. É importante destacar que a parede da fachada ventilada não possui isolamento térmico como as demais paredes externas, pois a sala da edificação que possui a fachada ventilada como parede externa não tem uma ocupação constante de pessoas.

O telhado com telhas termoacústicas obteve grande variação da temperatura na superfície externa ao longo do dia, enquanto a temperatura da superfície interna ficou em torno de 25°C , resultando em um amortecimento térmico de $13,34^{\circ}\text{C}$, comprovando, assim, que esse tipo de cobertura tem um bom desempenho térmico. Em relação ao telhado da edificação sem as estratégias bioclimáticas, com telhas de amianto, a temperatura da superfície interna e externa é praticamente a mesma ao longo do dia, e apresentou uma amplitude térmica maior que 40°C .

Em relação ao telhado vegetado, a variação da temperatura da superfície interior foi de apenas $1,47^{\circ}\text{C}$ enquanto que a temperatura da superfície exterior variou $25,58^{\circ}\text{C}$. No entanto, a temperatura da superfície interna ficou em torno de 25°C , como a do telhado com telhas termoacústicas. Vale ressaltar que a temperatura da superfície interna do telhado vegetado é o teto de alguns cômodos da edificação ao contrário da temperatura da superfície interna do telhado com telhas termoacústicas.

Em relação ao solstício de inverno, os resultados foram muito parecidos com os do solstício de verão. A temperatura da superfície interna da parede externa com as estratégias em nenhum momento foi menor que a temperatura da superfície externa, ao contrário da parede externa sem as estratégias. O maior amortecimento térmico da parede externa com as estratégias foi de 5,88°C e sem as estratégias foi de 3,62°C.

A fachada ventilada teve uma grande variação de temperatura na superfície externa, como no solstício de verão, e uma pequena variação na temperatura da superfície interna e a análise sem as estratégias, parede externa comum, teve um comportamento muito parecido com a parede externa sem as estratégias da análise anterior.

Em relação à cobertura, a mínima temperatura registrada na superfície externa do telhado com telha termoacústica foi de 1,54°C enquanto na superfície interna foi de 12,4°C e a máxima da superfície externa foi de 25,76°C enquanto na interna foi de 16,62°C. No telhado vegetado as temperaturas das superfícies mínimas foram de 8,32°C para a externa e 15,78°C para a interna e as máximas foram 29,09°C para a externa e para a interna 17,47°C. O máximo amortecimento térmico do telhado vegetado foi de 13,09°C enquanto que no telhado com telha termoacústica foi de 10,9°C.

O telhado sem as estratégias, telhas de amianto, teve uma variação de temperatura de 33,63°C ao longo do dia, e as temperaturas das superfícies interna e externa foram quase as mesmas em todos os horários. Os resultados das simulações discutidos anteriormente são apresentados resumidamente na Tabela 7, referente a planta piloto com e sem as estratégias para a condição de verão e na Tabela 8, referente a planta piloto com e sem as estratégias para condição de inverno.

Tabela 7 – Resultados da simulação para a Planta Piloto Bioclimática com e sem estratégias, para a condição de verão.

| Verão | | Externa | | | Interna | | | Amortecimento Térmico |
|-----------------|-------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|-------------------|-----------------------|
| | | Temp. Máx. | Temp. Mín. | Amplitude Térmica | Temp. Máx. | Temp. Mín. | Amplitude Térmica | |
| Com estratégias | Parede Norte | 30,50°C | 23,14°C | 7,36°C | 28,05°C | 22,09°C | 5,96°C | 5,05°C |
| | Fachada Ventilada | 39,66°C | 22,55°C | 17,11°C | 29,39°C | 25,66°C | 3,73°C | 11,52°C |
| | Telhado Vegetado | 47,47°C | 21,89°C | 25,58°C | 27,02°C | 25,55°C | 1,47°C | 21,38°C |
| | Telhado Termo. | 40,34°C | 17,07°C | 23,27°C | 27,24°C | 23,00°C | 4,24°C | 13,34°C |
| Sem estratégias | Parede Norte | 29,86°C | 23,02°C | 6,84°C | 28,58°C | 23,71°C | 4,87°C | 3,54°C |
| | Fachada Ventilada | 30,55°C | 23,56°C | 6,99°C | 29,50°C | 25,24°C | 4,26°C | 2,32°C |
| | Telhado Amianto | 65,21°C | 18,71°C | 46,50°C | 64,07°C | 18,89°C | 45,18°C | 1,14°C |

Fonte: do autor

Tabela 8 – Resultados da simulação para a Planta Piloto Bioclimática com e sem estratégias, para a condição de inverno.

| Inverno | | Externa | | | Interna | | | Amortecimento Térmico |
|-----------------|-------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|-------------------|-----------------------|
| | | Temp. Máx. | Temp. Mín. | Amplitude Térmica | Temp. Máx. | Temp. Mín. | Amplitude Térmica | |
| Com estratégias | Parede Norte | 21,41°C | 10,11°C | 11,30°C | 23,21°C | 15,43°C | 7,78°C | 5,88°C |
| | Fachada Ventilada | 37,80°C | 9,99°C | 27,81°C | 23,57°C | 17,95°C | 5,62°C | 17,95°C |
| | Telhado Vegetado | 29,09°C | 8,32°C | 20,77°C | 17,47°C | 15,78°C | 1,69°C | 13,09°C |
| | Telhado Termo. | 25,76°C | 1,54°C | 24,22°C | 16,62°C | 12,40°C | 4,22°C | 10,9°C |
| Som estratégias | Parede Norte | 22,03°C | 10,52°C | 11,51°C | 21,06°C | 14,01°C | 7,05°C | 3,62°C |
| | Fachada Ventilada | 22,27°C | 11,01°C | 11,26°C | 21,22°C | 15,22°C | 6,00°C | 4,52°C |
| | Telhado Amianto | 37,61°C | 3,98°C | 33,63°C | 36,80°C | 4,23°C | 32,57°C | 0,85°C |

Fonte: do autor

A análise do consumo energético da planta piloto, com e sem as estratégias bioclimáticas, mostra que o consumo da iluminação, interna e externa, e dos equipamentos permanece o mesmo para os dois casos. Esse resultado era esperado uma vez que o perfil de funcionamento da edificação permanece o mesmo, o valor mensal desses consumos pode ser observado na Tabela 9.

Em relação à utilização do ar condicionado, observa-se na Tabela 10 que quando utilizado para aquecimento, o consumo para a edificação sem as estratégias bioclimáticas foi maior em todos os meses que houve consumo. O máximo consumo ao longo de um mês para a edificação sem as estratégias foi de 35,15 kWh, enquanto que para a edificação com as estratégias o máximo ao longo de um mês foi de 12,08 kWh.

Quando o ar condicionado é utilizado para resfriamento, observa-se na Tabela 10 que na maioria dos meses o consumo é maior na edificação sem as estratégias. No entanto, nos meses de junho a setembro o consumo foi menor quando comparado com a planta piloto com as estratégias.

A Tabela 10 apresenta o consumo mensal de ar condicionado, para a condição de aquecimento e resfriamento, a soma anual de cada classe de consumo, o consumo mensal mínimo e máximo para o ano, e o desvio padrão quadrático. O desvio padrão é uma medida de dispersão que estabelece o grau de agregação de determinados dados. Ele indica a variabilidade de dados de uma amostra e seu objetivo principal é demonstrar qual é a regularidade existente num conjunto de dados, mostrando o grau de oscilação desses dados quando comparado com a média dos valores apresentados no conjunto.

Tabela 9 – Consumo mensal da iluminação, externa e interna, e dos equipamentos para a planta piloto, com e sem as estratégias bioclimáticas.

| Mês | Iluminação interna (kWh) | Iluminação externa (kWh) | Equipamentos (kWh) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| Janeiro | 10,44 | 26,31 | 1196,40 |
| Fevereiro | 9,39 | 24,38 | 1078,08 |
| Março | 11,48 | 32,22 | 1275,12 |
| Abril | 10,96 | 31,01 | 1222,56 |
| Mai | 9,92 | 29,81 | 1157,04 |
| Junho | 11,48 | 33,70 | 1261,92 |
| Julho | 11,48 | 34,99 | 1275,12 |
| Agosto | 11,48 | 33,70 | 1275,12 |
| Setembro | 10,96 | 32,12 | 1222,56 |
| Outubro | 10,44 | 29,82 | 1196,4 |
| Novembro | 10,44 | 26,58 | 1183,2 |
| Dezembro | 12,00 | 27,76 | 1314,48 |
| Soma | 130,47 | 362,38 | 14658,00 |
| Mínimo do Ano | 9,39 | 24,38 | 1078,08 |
| Máximo do Ano | 12,00 | 34,99 | 1314,48 |

Fonte: do autor

Tabela 10 – Consumo do ar condicionado para a planta piloto, com e sem as estratégias bioclimáticas.

| Mês | Aquecimento Com Estratégias (kWh) | Aquecimento Sem Estratégias (kWh) | Resfriamento Com Estratégias (kWh) | Resfriamento Sem Estratégias (kWh) |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Janeiro | 0 | 0 | 169,35 | 190,34 |
| Fevereiro | 0 | 0 | 168,92 | 189,97 |
| Março | 0 | 0 | 226,53 | 261,22 |
| Abril | 0 | 0 | 167,56 | 173,83 |
| Mai | 0 | 0,04 | 106,74 | 95,34 |
| Junho | 2,14 | 9,22 | 27,35 | 15,90 |
| Julho | 12,08 | 36,15 | 13,69 | 8,62 |
| Agosto | 1,61 | 5,61 | 48,24 | 43,38 |
| Setembro | 4,94 | 9,40 | 31,45 | 29,95 |
| Outubro | 1,65 | 3,24 | 66,82 | 70,71 |
| Novembro | 0 | 0 | 173,08 | 200,78 |
| Dezembro | 0 | 0 | 208,99 | 244,09 |
| Soma | 22,43 | 63,67 | 1408,71 | 1524,12 |
| Mínimo do Ano | 0 | 0 | 13,69 | 8,62 |
| Máximo do Ano | 12,08 | 36,15 | 226,53 | 261,22 |
| Desvio Padrão | 3,39 | 9,93 | 73,58 | 88,64 |

Fonte: do autor

A análise do desvio padrão mostrou que o uso do ar condicionado para aquecimento da simulação com as estratégias bioclimáticas obteve uma dispersão dos dados de 3,39 kWh enquanto que para a simulação sem as estratégias essa dispersão foi de 9,93 kWh. Em relação

à utilização do ar condicionado para resfriamento, a dispersão dos dados foi de 73,58 kWh com as estratégias e sem as estratégias foi de 88,64 kWh.

Para finalizar a análise da simulação da planta piloto, com e sem as estratégias bioclimáticas, foi analisado o número de horas de desconforto térmico para cada caso. É importante ressaltar que o conforto térmico não foi prioridade na simulação, pois depende de muitas outras variáveis além das que foram analisadas nesse estudo. No entanto, o *EnergyPlus* fornece o número de horas de desconforto térmico baseado na ASHRAE 55-2004.

Para a planta piloto com as estratégias bioclimáticas a simulação resultou em 1883,03 horas de desconforto térmico ao longo de um ano, enquanto que na simulação sem as estratégias resultou em 2008,7 horas de desconforto térmico ao longo de um ano. As horas de desconforto térmico da planta piloto sem as estratégias foram, aproximadamente, 6,66% maiores que para a planta piloto com as estratégias.

Quando se observa o consumo energético anual para as duas simulações observa-se que o consumo da planta sem as estratégias é de apenas 1,4% maior que a simulação com as estratégias, uma vez que a maior parte do consumo é referente aos equipamentos e estes permanecem com o mesmo perfil de consumo para as duas simulações. Contudo, há diferença nas horas de desconforto e estas podem ser explicadas pelo aspecto construtivo da edificação.

4.4 Análise da simulação em diferentes zonas bioclimáticas

Nesta seção será feita uma análise comparativa entre a planta piloto bioclimática real e uma planta piloto bioclimática hipotética localizada em cidades que contemplam as oito zonas bioclimáticas do Brasil. A análise será baseada no consumo energético. O consumo de energia relativo à iluminação interna e aos equipamentos é o mesmo para todos os casos analisados, uma vez que o perfil de consumo da planta piloto não foi alterado para as demais simulações.

O consumo mensal da iluminação externa pode ser verificado na Tabela 11. O consumo tem pequena variação entre as zonas bioclimáticas, como pode ser analisado a partir do desvio padrão médio que varia de 2,76 kWh para a planta piloto real a 1,90 kWh para a planta hipotética de Belém. Esse resultado é aceitável visto que a iluminação externa é controlada por um sensor e este é acionado quando a iluminação natural não é suficiente. O consumo da iluminação externa depende da duração do dia que é função da latitude.

Tabela 11 – Consumo referente à iluminação externa em kWh.

| Zona Bioclimática | Planta Piloto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Janeiro | 26,31 | 26,29 | 28,05 | 26,60 | 27,67 | 28,51 | 26,98 | 28,92 | 28,57 |
| Fevereiro | 24,38 | 24,34 | 25,59 | 24,59 | 25,20 | 25,88 | 24,64 | 26,15 | 25,65 |
| Março | 32,22 | 32,15 | 33,25 | 32,41 | 32,64 | 33,25 | 32,05 | 33,19 | 32,63 |
| Abril | 31,01 | 30,98 | 31,10 | 31,05 | 30,99 | 31,08 | 30,64 | 30,88 | 30,55 |
| Mai | 29,81 | 29,81 | 29,81 | 29,81 | 29,81 | 29,81 | 29,81 | 29,80 | 29,47 |
| Junho | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,17 |
| Julho | 34,99 | 34,99 | 34,99 | 34,99 | 34,99 | 34,99 | 34,93 | 34,99 | 34,18 |
| Agosto | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,70 | 33,68 | 33,70 | 33,27 | 33,65 | 32,94 |
| Setembro | 32,12 | 32,04 | 31,97 | 32,25 | 32,26 | 31,79 | 31,74 | 31,59 | 32,02 |
| Outubro | 29,82 | 29,80 | 30,48 | 29,97 | 30,52 | 30,59 | 30,07 | 30,69 | 30,96 |
| Novembro | 26,58 | 26,55 | 28,16 | 26,83 | 27,74 | 28,58 | 27,09 | 28,95 | 28,48 |
| Dezembro | 27,76 | 27,75 | 29,63 | 28,07 | 29,30 | 30,15 | 28,56 | 30,61 | 30,36 |
| Desvio padrão médio | 2,76 | 2,75 | 2,25 | 2,69 | 2,34 | 2,08 | 2,43 | 1,94 | 1,90 |

Fonte: do autor

Em relação ao consumo de ar condicionado para resfriar os ambientes, os consumos mensais em kWh são apresentados na Tabela 12. Quando comparado os consumos mensais da planta piloto real com as plantas hipotéticas observa-se que a de São Joaquim obteve o menor consumo, seguido por Teresópolis. As cidades de Florianópolis e Brasília apresentaram um consumo semelhante ao da planta piloto real em Araranguá e as demais cidades apresentaram os maiores consumos energéticos para essa classe analisada.

A planta piloto hipotética de São Joaquim, apresentou menor consumo em todos os meses, resultando em um consumo anual de 392,8 kWh. Esse consumo é 1015,92 kWh menor que o consumo da planta piloto real. A mesma análise para a planta piloto hipotética de Teresópolis mostrou que na maioria dos meses o consumo foi menor que o da planta piloto real, sendo que somente nos meses junho, julho, setembro e outubro a planta de Teresópolis apresentou um consumo maior. Um balanço anual mostra que a planta piloto real teve um consumo maior, de ordem de 347,45 kWh. Vale ressaltar que Araranguá, cidade da planta piloto real, também está localizada na zona bioclimática 2 e que essas diferenças de consumo, entre Araranguá e Teresópolis, podem ser explicadas pelo microclima das diferentes regiões analisadas entre outros fatores.

Quando os resultados da planta piloto real são comparados com os resultados da planta piloto hipotética de Florianópolis, observa-se o contrário da análise feita para a cidade de Teresópolis. A maioria dos meses o consumo de energia é maior em Florianópolis, sendo que somente em março, agosto, novembro e dezembro o consumo em Florianópolis foi menor que na planta piloto real. Na análise anual, Florianópolis teve um consumo 106,4 kWh maior que a planta piloto real.

Comparando a planta piloto com a cidade de Brasília, observa-se que na maioria dos meses o consumo de energia elétrica para resfriamento foi maior. Araranguá só consumiu mais nos meses mais quentes do ano, janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Fazendo um balanço anual Brasília consumiu 157,59 kWh a mais que a planta piloto real.

A planta piloto hipotética de Governador Valadares apresentou um consumo anual de 901,64 kWh maior que a planta piloto real, enquanto que a planta piloto hipotética de Rio verde apresentou um consumo anual de 647,3 kWh maior que a planta piloto real. O consumo da planta piloto hipotética de Cuiabá foi 1279,97 kWh maior que a planta piloto real enquanto que o consumo da planta piloto hipotética de Belém foi 1478,74 kWh maior que a planta piloto real.

Tabela 12 – Consumo referente ao ar condicionado – resfriamento, em kWh.

| Zona Bioclimática | Planta Piloto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Janeiro | 169,35 | 59,47 | 131,58 | 190,45 | 151,48 | 211,53 | 177,66 | 229,09 | 228,06 |
| Fevereiro | 168,92 | 74,14 | 133,15 | 178,92 | 147,51 | 203,40 | 169,90 | 214,61 | 208,96 |
| Março | 226,53 | 105,92 | 187,07 | 211,5 | 175,01 | 254,46 | 218,97 | 263,22 | 259,10 |
| Abril | 167,56 | 37,88 | 131,15 | 175,34 | 168,37 | 220,34 | 209,09 | 192,71 | 245,90 |
| Mai | 106,74 | 15,36 | 48,05 | 109,4 | 127,32 | 151,64 | 138,40 | 217,38 | 222,31 |
| Junho | 27,35 | 1,26 | 62,26 | 88,65 | 114,64 | 156,26 | 148,67 | 190,33 | 254,06 |
| Julho | 13,69 | 5,94 | 36,34 | 52,55 | 106,16 | 143,22 | 128,27 | 219,93 | 253,40 |
| Agosto | 48,24 | 9,20 | 41,52 | 32,97 | 83,91 | 149,17 | 160,07 | 218,17 | 252,17 |
| Setembro | 31,45 | 5,93 | 65,61 | 43,22 | 118,49 | 190,75 | 155,29 | 214,94 | 242,70 |
| Outubro | 66,82 | 6,06 | 76,65 | 100,31 | 108,42 | 179,62 | 170,58 | 228,57 | 229,30 |
| Novembro | 173,08 | 15,68 | 48,77 | 139,85 | 115,37 | 205,00 | 171,48 | 236,32 | 230,56 |
| Dezembro | 208,99 | 55,96 | 99,12 | 191,96 | 149,63 | 244,97 | 207,64 | 263,42 | 260,94 |
| Consumo anual | 1408,72 | 392,8 | 1061,27 | 1515,12 | 1566,31 | 2310,36 | 2056,02 | 2688,69 | 288746 |

Fonte: do autor

As análises quanto ao consumo de ar condicionado para a condição de aquecimento foram baseadas nos resultados apresentados na Tabela 13. Somente as plantas das cidades de São Joaquim, Teresópolis, Florianópolis e Araranguá precisaram da utilização de aquecimento artificial, e na planta hipotética de Cuiabá, somente um mês foi registrado consumo. A planta hipotética de São Joaquim foi a que apresentou maior consumo. As plantas de Teresópolis e Araranguá, ambas pertencendo a zona bioclimática 2, apresentaram uma pequena diferença de consumo, sendo que a planta piloto real apresentou um consumo anual de 22,42 kWh, enquanto a planta piloto hipotética de Teresópolis apresentou consumo anual da ordem de 21,97 kWh.

Tabela 13 – Consumo referente ao ar condicionado – aquecimento, em kWh.

| Zona Bioclimática | Planta Piloto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------|---------------|--------|-------|------|---|---|---|------|---|
| Janeiro | 0 | 1,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fevereiro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Março | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Abril | 0 | 4,63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,31 | 0 |
| Maio | 0 | 17,94 | 2,21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Junho | 2,14 | 36,67 | 0,83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Julho | 12,08 | 11,72 | 15,16 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agosto | 1,61 | 44,01 | 0,65 | 1,23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Setembro | 4,94 | 64,07 | 0,57 | 2,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Outubro | 1,65 | 21,86 | 1,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Novembro | 0 | 10,47 | 1,41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dezembro | 0 | 2,73 | 0,09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Soma | 22,42 | 215,66 | 21,97 | 4,03 | 0 | 0 | 0 | 1,31 | 0 |

Fonte: do autor

Em relação à utilização do ar condicionado para ventilação, o consumo apresentou variação mínima entre as zonas bioclimáticas, como pode ser verificado a partir do desvio padrão médio que variou de 1,61 kWh para a planta hipotética de Rio Verde a 1,42 kWh para a planta hipotética de Belém, como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Consumo referente ao ar condicionado – ventilação, em kWh.

| Zona Bioclimática | Planta Piloto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Janeiro | 25,41 | 26,56 | 25,66 | 25,3 | 25,27 | 25,43 | 26,99 | 24,86 | 23,76 |
| Fevereiro | 22,87 | 23,9 | 23,09 | 22,77 | 22,74 | 22,89 | 24,29 | 22,37 | 21,38 |
| Março | 27,96 | 29,21 | 28,22 | 27,83 | 27,8 | 27,98 | 29,69 | 27,34 | 26,14 |
| Abril | 26,68 | 27,88 | 26,94 | 26,56 | 26,54 | 26,7 | 28,34 | 26,1 | 24,95 |
| Maio | 24,14 | 25,23 | 24,37 | 24,03 | 24,01 | 24,16 | 25,64 | 23,61 | 22,57 |
| Junho | 27,96 | 29,21 | 28,22 | 27,83 | 27,8 | 27,98 | 29,69 | 27,34 | 26,14 |
| Julho | 27,96 | 29,21 | 28,22 | 27,83 | 27,8 | 27,98 | 29,69 | 27,34 | 26,14 |
| Agosto | 27,96 | 29,21 | 28,22 | 27,83 | 27,8 | 27,98 | 29,69 | 27,34 | 26,14 |
| Setembro | 26,68 | 27,88 | 26,94 | 26,56 | 26,54 | 26,7 | 28,34 | 26,1 | 24,95 |
| Outubro | 25,41 | 26,56 | 25,66 | 25,3 | 25,27 | 25,43 | 26,99 | 24,86 | 23,76 |
| Novembro | 25,41 | 26,56 | 25,66 | 25,3 | 25,27 | 25,43 | 26,99 | 24,86 | 23,76 |
| Dezembro | 29,23 | 30,54 | 29,51 | 29,09 | 29,06 | 29,25 | 31,04 | 28,58 | 27,32 |
| Desvio padrão médio | 1,52 | 1,58 | 1,53 | 1,51 | 1,51 | 1,52 | 1,61 | 1,48 | 1,42 |

Fonte: do autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os resultados da simulação termoenergética de uma planta piloto localizada em Araranguá/SC e mostrou a importância da simulação computacional no âmbito das edificações, sendo que os softwares são ferramentas que

permitem ao projetista prever o funcionamento e comparar diferentes soluções para a otimização dos projetos de novos edifícios.

Os resultados das simulações foram expressivos em algumas construções analisadas. Os maiores amortecimentos térmicos para a planta piloto bioclimática no solstício de verão foram o do telhado vegetado, 21,38°C, e do telhado termoacústico, 13,34°C. A amplitude térmica no telhado vegetado foi de 25,58°C para a superfície externa e 1,47°C para a interna, e para o telhado termoacústico a amplitude térmica para a superfície externa foi de 23,27°C e 4,24°C para a interna. No solstício de inverno as maiores amplitudes térmicas foram a da fachada ventilada, 17,98°C e do telhado vegetado, 13,09°C. As amplitudes térmicas foram de 27,81°C para a superfície externa da fachada ventilada e de 5,62°C para a interna e em relação ao telhado vegetado foi de 20,77°C para a superfície externa e 1,69°C para a interna. Para a planta piloto sem as estratégias bioclimáticas todos os amortecimentos térmicos analisados foram menores que os da planta com as estratégias, destacando o telhado de amianto que teve um amortecimento térmico muito pequeno, de 1,14°C no verão e 0,85°C no inverno.

As estratégias bioclimáticas diminuem o consumo energético e aumentam o conforto térmico nas edificações. Vale ressaltar que a economia de energia apresentada nesse trabalho foi pequena, uma vez que a maior parte do consumo está relacionada com os equipamentos e o funcionamento da edificação.

A comparação final da planta piloto real com a planta piloto hipotética nas diferentes zonas bioclimáticas indicou que, de fato, o clima do local onde a edificação é construída interfere no consumo de energia elétrica e no conforto térmico. Logo, é imprescindível que os projetistas levem em consideração o clima do local da edificação bem como as diretrizes construtivas presentes na NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações.

O Brasil é um país em desenvolvimento e o amadurecimento de eficiência energética na edificação é um importante fator para a demanda de energia elétrica, uma vez que, há muitas edificações para serem construídas. Com edificações adequadas para cada clima, equipamentos de alta eficiência, uso racional da energia por parte dos consumidores e a geração distribuída de energia nos edifícios, é possível que cada construção tenha um impacto mínimo no sistema elétrico brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO, Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia, **Potencial de Eficiência Energética no Brasil 2008 - 2016**. Disponível em < http://www.abesco.com.br/pt/novidade/potencial-de-eficiencia-energetica-no-brasil-2008-2016/?utm_campaign=&utm_content=Potencial+de+Efici%C3%Aancia+Ener%C3%A9tica+no+Brasil+2008+%E2%80%93+2016+%7C+Abesco+%281%29&utm_medium=email&utm_source=EmailMarketing&utm_term=ABESCO+-+Pesquisa+ABESCO+e+ACEEE>. Acesso em 08 de junho de 2017.

ANANDA, **Telhas termoacústicas**. 2017. Disponível em < <http://www.anandametais.com.br/produtos/coberturas/telhas-termoacusticas-3/>> Acesso em 17 de junho de 2017.

ARAÚJO, S. R. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. 2007. 21 f. Monografia – Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2007.

ASHRAE. **ASHARE handbook fundamentals**. Atlanta, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Desempenho de edificação habitacional até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

CARDOSO, M. P. **Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: estudo de caso no Município de Belo Horizonte – MG**. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-7Y7PQX>> Acesso em: 22 mai. 2017.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CUNHA et al. Projeto arquitetônico bioclimático: melhoria da eficiência energética de habitação social em município do Nordeste Paulista. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO e III CONGRESSO IBERO-AMERICANO HABITAÇÃO SOCIAL: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2012. p. 11.

DREHER, A. R., JACOSKI, C. A., MEDEIROS, R. Conceitos de bioclimatologia e sustentabilidade aplicados a fase de projeto em habitações de interesse social. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n.1, p.145-159, jan/jul. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/293807527_CONCEITOS_DE_BIOCLIMATOLOGIA_E_SUSTENTABILIDADE_APLICADOS_A_FASE_DE_PROJETO_EM_HABITACOES_DE_INTERESSE_SOCIAL>. Acesso em: 25 mai. 2017.

DUTRA, Miguel R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas – Análise do comportamento**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa – Portugal, 2010. Disponível em <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395140450819/Tese%20final.pdf>> Acesso em 24 mai. 2017.

ENERGYPLUS, The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. US Department of Energy. 2013.

ESPÍNDOLA, G. S. **Simulação energética de uma planta piloto com elementos de arquitetura bioclimática e geração distribuída com sistemas fotovoltaicos**. 2016. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª Edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GALDINO, M. A. PINHO, J. T. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

GALVÃO; FARIAS; MENDES. Obtenção e caracterização de espuma rígidas de poliuretano (PUR) com pó de vidro sodo-cálcico (PV) do rejeito da lapidação. **HOLOS**, Rio Grande de Norte, Ano 31, Vol. 5, p. 15. 2015.

GALVÃO, T. 2006. Fachadas Ventiladas – Dossier técnico econômico, Outubro de 2006, n.º 2 – construlink.com.

GUERRA, M. R. **Projeto e desenvolvimento de uma planta piloto com conceitos de arquitetura bioclimática**. 2016. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

INCROPERA et al.; tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. **Fundamento de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis. 2017. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 13 de março de 2017.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Simulação termo-energética de edificações**. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis. 2017. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes>>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LIMA et al. A influência de protetores solares na iluminação natural do edifício sede da Comesa. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011. p. 10.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. 2000. 203 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MASCARÓ, L.R. **Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo**. 2ª Edição. São Paulo: Projeto, 1991. 213 p.

MENDONÇA, Paulo Jorge Figueira de Almeida Urbano. **Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados**. 2005. 569 f. Tese (Doutorado) – Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia prático de eficiência energética: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem**: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de eficiência energética: premissas e diretrizes básicas**. Ministério de Minas e Energia, Departamento de Desenvolvimento Energético. Brasília: MME, 2011. 156 p.

MORISHITA, et al. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas** (v.5). Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA; SOARES; SANTOS. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. **Revista Petra**. Belo Horizonte, v.2, n.1, p. 36-55, 2016.

PANESI, André. Uso de ferramenta computacional para determinar a participação dos usos finais de energia de uma edificação comercial. **Revista Científica Internacional**. Rio de Janeiro, v.1, n.15, 2010.

PINTO, C.F. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável: O Uso de fontes alternativas de energia**. 2009. 209 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, USP – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2009.

PORTAL BRASIL, **Matriz Energética**. 2010. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>> Acesso em 12 de abril de 2017.

PROCEL INFO, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, **Edificações**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9620D5F9DBD04%7D>> Acesso em 08 de junho de 2017.

RADOLL, C. B. **Fachadas ventiladas: seleção entre sistemas revestidos com cerâmica extrudada, granito e porcelanato para as obras de alto padrão de uma construtora de Porto Alegre**. 2012. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/63196>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

RAHN, M. A. S. **Estudo das propriedades termofísicas com variação da expansibilidade de compósito desenvolvido com matriz PUR-NOP e carga funcional de argilomineral**. 2011. 183 f. Dissertação (Doutorado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

ROMÉRO, M. A.; REIS, L. B. **Eficiência energética em edificações**. São Paulo: Manole, 2012.

SILVA, A. R. **Estudo térmico e de materiais na construção de casas populares com blocos confeccionados a partir de um composto a base de cimento, gesso, EPS e raspa de**

pneu. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, M. F. R. **Simulação energética de coberturas verdes.** 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2014.

SILVA, N. C. **TELHADO VERDE: Sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental.** 2011. 56 f. Monografia – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia UFSM, Belo Horizonte, 2011.

WALLAUER, Maurício Ditter. **Utilização do programa energyplus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras.** 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3653>> Acesso em: 03 mai. 2017.

MELO, A. P., et al. **Apostila do curso básico do programa *Energyplus*.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2009.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir ter ânimo para ir atrás dos meus objetivos e força para concretizá-los. À minha amada família que está comigo em todos os momentos me apoiando e dando suporte, meus pais por serem meus maiores exemplos e mesmo de longe, sempre estarem presentes nos meus dias, meus irmãos que são verdadeiros anjos na minha vida. Aos meus amigos por todo apoio e por sempre se fazerem presentes.

Ao meu orientador, Giuliano Arns Rampinelli, por ser um exemplo de profissional, por ter me orientado não só nesse trabalho de conclusão de curso, mas por ter tido uma importância fundamental nessa reta final da minha graduação.