

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DO EFEITO DE SOLUÇÕES PASSIVAS DE CLIMATIZAÇÃO NO NÚMERO
ANUAL DE HORAS DE CONFORTO TÉRMICO EM UMA OFICINA INDUSTRIAL

por

Pedro Manfroi de Azevedo Iurinic da Costa

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

da Costa, Pedro Manfroi de Azevedo Iurinic
Análise do efeito de soluções passivas de climatização no número anual de horas de conforto térmico em uma oficina industrial / Pedro Manfroi de Azevedo Iurinic da Costa. -- 2021.
27 f.
Orientador: Leticia Jenisch Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Conforto térmico. 2. Telhado verde. 3. EnergyPlus . I. Rodrigues, Leticia Jenisch, orient.
II. Título.

Pedro Manfroi de Azevedo Iurinic da Costa

ANÁLISE DO EFEITO DE SOLUÇÕES PASSIVAS DE CLIMATIZAÇÃO NO NÚMERO ANUAL DE HORAS DE CONFORTO TÉRMICO EM UMA OFICINA INDUSTRIAL

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE **ENGENHEIRO MECÂNICO** APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientadora: Prof^a. Dr^a Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin

Prof. Dr. Diogo Elias da Vinha Andrade

Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Porto Alegre, novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou e me deu forças para continuar em todos os momentos importantes da minha trajetória acadêmica.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2021

ANÁLISE DO EFEITO DE SOLUÇÕES PASSIVAS DE CLIMATIZAÇÃO
NO NÚMERO ANUAL DE HORAS DE CONFORTO TÉRMICO EM UMA
OFICINA INDUSTRIAL

da Costa, Pedro Manfroi de Azevedo Iurinic
pedro.manfroi@gmail.com

Resumo. *O presente estudo avalia o comportamento energético e térmico de uma oficina industrial localizada em Canoas usando soluções passivas de climatização: telhas de fibrocimento, fibrocimento com forro de gesso, telha de cerâmica, telha de concreto, telha sanduíche, telhado verde e, concomitantemente aos diferentes tipos de telhado, pintura branca de paredes e telhas. Os múltiplos cenários são simulados por meio do EnergyPlus™ e avaliados quanto ao percentual anual de horas de conforto térmico. As soluções passivas de climatização aumentam as horas anuais de conforto térmico em até 28,85% em comparação a edificação original. Os diferentes tipos de telha e o telhado verde reduzem a amplitude de temperaturas operativas observadas. A edificação com telhado verde obtém o maior efeito de redução de amplitude de da temperatura operativa interna entre os diferentes tipos de telhados estudados. A edificação com melhor performance no estudo mantém-se em estado de conforto térmico em 53,23% das horas de operação anuais.*

Palavras-chave: *conforto térmico, telhado verde, EnergyPlus*

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF PASSIVE CLIMATIZATION SOLUTIONS ON
THE ANNUAL NUMBER OF THERMAL COMFORT HOURS IN AN INDUSTRIAL
WORKSHOP**

Abstract. *This study evaluates the thermal and energetic behavior of an industrial workshop located in Canoas, Brazil, using passive climatization solutions: asbestos-cement tiles, asbestos-cement tiles with a plaster ceiling, concrete tiles, ceramic tiles, sandwich tiles, green roof, and, simultaneously to the different types of roofing, white-painted walls and roof tiles. The building is simulated on EnergyPlus™ for the different scenarios and assessed on the annual percentage of hours of thermal comfort. The passive climatization solutions increase the yearly hours of thermal comfort by upwards of 28,85% compared to the original building. The different types of roof tiles and the green roof reduce the amplitude of operative temperatures observed. The green roof building attains the most significant operative temperature amplitude reduction among the different types of roofs studied. The best-performing building in the study is in a thermal comfort state in 53,23% of its annual operating hours.*

Keywords: *thermal comfort, green roof, EnergyPlus*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da edificação estudada	10
Figura 2 – Esquemática do sistema de solução simultânea do EnergyPlus™	10
Figura 3 – Balanço de energia em paredes externas	11
Figura 4 – Balanço de energia em paredes internas	12
Figura 5 – Balanço de energia no telhado verde	12
Figura 6 – Limites aceitáveis para temperatura operativa interna do modelo adaptativo	14
Figura 7 – Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico na edificação com telhado de fibrocimento e com paredes e telhas pintadas de branco.....	19
Figura 8 - Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico para diferentes tipos de telhado, zona principal	19
Figura 9 – Perfil de temperaturas operativas na zona principal da edificação para diferentes tipos de telhados, dia 10/06	20
Figura 10 – Perfil de temperaturas operativas na zona principal da edificação para diferentes tipos de telhados, dia 06/12	20
Figura 11 – Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico na edificação original e na oficina com telhado verde e paredes brancas	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de ventilação adotados nas zonas térmicas do modelo.	16
Tabela 2 – Identificação dos materiais utilizados na estrutura das telhas.	17
Tabela 3 – Percentual mensal de horas de conforto térmico durante horário de operação da edificação por zona térmica.	18
Tabela 4 – Percentual anual de horas de conforto térmico na zona principal para diferentes tipos de telhado e absorvidade de paredes	18
Tabela A.1. – Cargas térmicas internas da zona principal.....	24
Tabela A.2. – Cargas térmicas internas da zona almoxarifado.	24
Tabela A.3. – Cargas térmicas internas da zona serralheria.	24
Tabela B.1. – Composição dos telhados e forros	25
Tabela B.2. – Composição de paredes e portas	25
Tabela C.1. – Propriedades do Telhado verde.....	26
Tabela C.2. – Irrigação diária do telhado verde por mês do ano.....	26
Tabela D.1. – Carga horária de iluminação para as zonas térmicas.	27
Tabela D.2. – Ocupação das zonas térmicas em dias de semana	27
Tabela D.3. – Potência de equipamentos nas zonas térmicas em dias de semana.	27

NOMENCLATURA

Símbolos

A	Área	m^2
C_p	Calor específico	J/kgK
$C_z \frac{dT_z}{dt}$	energia armazenada no ar da zona	W
F_f	Fluxo de calor para a camada de folhagem	W/m^2
H	Fluxo de calor sensível	$W/(m^2K)$
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção	$W/(m^2K)$
I	radiação	W/m^2
$K \frac{\partial T_g}{\partial z}$	Fluxo de calor por condução para o substrato do solo	$W/(m^2K)$
L	Fluxo de calor latente	$W/(m^2K)$
\dot{m}	Vazão mássica	kg/s
\dot{Q}	Carga térmica	W
q''	Fluxo de calor	W/m^2
T	Temperatura	K
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	W/m^2K^4
α	Absortividade	Adimensional
ε	Emissividade	Adimensional
ρ	Refletividade	Adimensional

Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
NREL	National Renewable Energy Laboratory

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. FUNDAMENTAÇÃO	9
2.1. Apresentação do problema	9
2.2 EnergyPlus™	10
2.3. Balanço de energia nas zonas térmicas.....	10
2.4. Balanço de energia nas superfícies	11
2.5. Balanço de energia no telhado verde	12
2.6. Modelo adaptativo para conforto térmico	13
2.7. Cálculos de Ventilação	14
3. METODOLOGIA	15
3.1. Arquivo climático	15
3.2. Edificação analisada	15
3.2.1 Ventilação	16
3.2.2. Cargas térmicas internas	16
3.3. Soluções propostas	16
3.3.1. Aplicação de forro de gesso ao telhado de fibrocimento	16
3.3.2. Telhas e forros	16
3.3.3. Telhado Verde	17
3.3.4. Pintura de Branco	17
4. RESULTADOS	17
4.1. Edificação inicial	17
4.2. Soluções propostas	18
5. CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
APÊNDICE A – CARGAS TÉRMICAS INTERNAS	24
APÊNDICE B – CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE FORROS E TELHAS	25
APÊNDICE C – PROPRIEDADES DO TELHADO VERDE E IRRIGAÇÃO	26
APÊNDICE D – CARGAS HORÁRIAS DE ILUMINAÇÃO, PESSOAS E EQUIPAMENTOS	27

1. INTRODUÇÃO

A climatização de ambientes é um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento no consumo de eletricidade no Brasil, tendo aumentado sua participação no consumo domiciliar de energia de 7%, em 2005, para 14%, em 2017, de acordo com a Nota Técnica EPE 030/2018 (EPE, 2018). A motivação para o presente trabalho é a observação de uma oficina industrial com um elevado grau de desconforto térmico, que possivelmente pode ser corrigido com a adoção de soluções passivas de climatização.

Diversos estudos na literatura buscaram avaliar o impacto de soluções passivas de climatização sobre edificações, principalmente residenciais. Zanella, 2019, avaliou, por meio da simulação de uma construção genérica no EnergyPlus™, os níveis de desempenho térmico de diversos tipos de telha – telha sanduíche, telha de fibrocimento, telha cerâmica, telha de concreto e telha asfáltica – e classificou a performance do prédio de acordo com os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013). A edificação com telha sanduíche apresentou o melhor desempenho e atendeu aos critérios da norma, enquanto o prédio com telha de fibrocimento apresentou os piores resultados.

Silveira, 2020, avaliou, via simulação no EnergyPlus™, o comportamento térmico e energético de uma edificação unifamiliar aplicada ao clima de Porto Alegre com a instalação de paredes verdes, película de vidro e telhado verde. O trabalho analisou o impacto de telhados verdes com diversos tipos de intensidade e área de folhagem. A aplicação de paredes verdes representou uma redução de consumo de 5%, enquanto a película de vidro reduziu os gastos em 16,9%. O telhado com as maiores intensidade e área de folhagem resultou na maior economia de energia em um sistema de climatização, de até 8,5%. As soluções demonstraram-se complementares em cenários com elevadas temperaturas externas, reduzindo o consumo energético total anual em 29%.

Este trabalho teve o objetivo de analisar o efeito de diferentes tipos de telhado – fibrocimento sem forro, fibrocimento com forro, telha cerâmica, telha de concreto, telha sanduíche e telhado verde – e da pintura de paredes e telhas de branco sob o número de horas anuais de conforto térmico em uma oficina industrial localizada em Canoas (RS). O número anual de horas de conforto térmico foi obtido por meio da simulação da edificação no software EnergyPlus™. Os dados obtidos foram avaliados para responder ao questionamento: as soluções de climatização passivas têm a capacidade de aproximar significativamente a edificação do estado de conforto térmico?

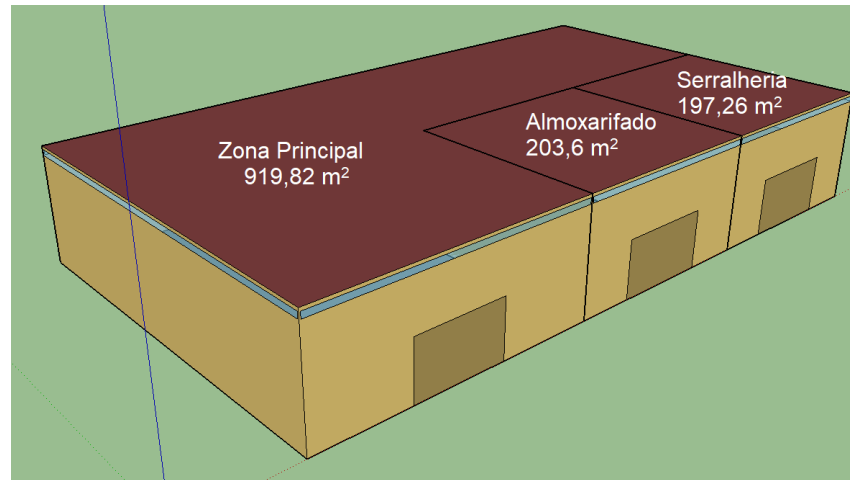
2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1. Apresentação do problema

A edificação objeto da simulação é uma oficina industrial, localizada no município de Canoas (RS), com face principal orientada para o norte, que apresenta uma área de 1320,68 m² e um pé-direito de 8,0 m. A oficina tem uma ocupação usual de 14 pessoas, sendo dez pessoas na zona principal, duas pessoas no almoxarifado e duas pessoas na serralheria. A representação da oficina é disponibilizada na Figura 1.

Os ocupantes da oficina relatam um elevado nível de desconforto térmico na oficina, principalmente nos meses de verão. As estratégias de climatização atualmente usadas na edificação são o uso de um sistema de ventilação forçada e a adoção de equipamentos de resfriamento evaporativo.

Figura 1 – Representação da edificação estudada

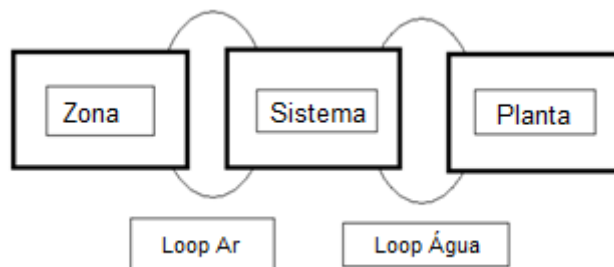


2.2 EnergyPlus™

O software EnergyPlus™ (NREL, 2021a) foi selecionado para a execução das simulações térmicas alvo do estudo. O EnergyPlus™ é um software de código aberto para modelagem de energia de edifício completo, sob desenvolvimento do Departamento de Energia dos Estados Unidos desde 1997. O EnergyPlus™ recebe duas atualizações anuais, em outubro e abril. No presente trabalho, foi adotada a versão 8.7.0 do software.

O EnergyPlus™ usa uma solução integrada em que as três partes - prédio, sistema e planta - são resolvidas simultaneamente. Os três elementos são ligados em um esquema de solução simultâneo com o objetivo de obter uma simulação fisicamente realista. O programa integrado pode ser representado como uma série de elementos funcionais conectados por laços de fluido, conforme mostrado na Figura 2. No EnergyPlus™, os elementos são integrados e controlados pelo gerenciador de soluções integradas. Os laços são divididos em lados de oferta e demanda, e o esquema de solução geralmente depende de iterações de substituição sucessivas para reconciliar a filosofia de Gauss-Seidell de atualização contínua.

Figura 2 – Esquemática do sistema de solução simultânea do EnergyPlus™ (Adaptado de NREL, 2021b.)



2.3. Balanço de energia nas zonas térmicas

O EnergyPlus™ tem, como base para a integração dos sistemas de zona e ar, a formulação dos balanços de energia e umidade para o ar da zona e a resolução das equações diferenciais

ordinárias resultantes com o uso de uma abordagem preditor-corretora. A formulação do esquema inicia-se com um balanço de calor no ar da zona:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

em que $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia armazenada no ar da zona, em W; $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ é soma das cargas internas convectivas, em W; $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor convectiva das superfícies da zona, em W; $\dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$ é a transferência de calor devido a infiltração de ar externo, em W; $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é a transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas, em W; T_z é a temperatura da zona, em K; T_∞ é a temperatura do ar externo, em K; T_s é a temperatura da superfície, em K; \dot{Q}_{sys} é a taxa de calor com o sistema de climatização, em W; N_{sl} indica o número de superfícies de cargas internas convectivas, adimensional; $N_{surface}$ indica o número de superfícies da zona térmica, adimensional; N_{zones} indica o número de zonas térmicas, adimensional; o subíndice “i” indica a i-ésima superfície ou zona térmica.

Hipóteses simplificadoras são assumidas à Equação (1), que é rearranjada e resolvida por um entre três algoritmos disponíveis no software.

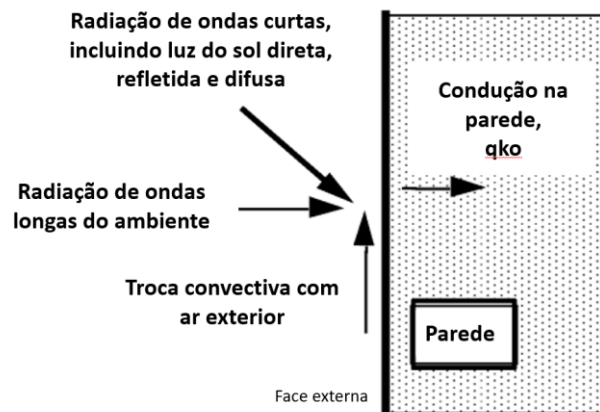
2.4. Balanço de energia nas superfícies

A formulação do balanço de energia em superfícies externas é dada por

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (2)$$

na qual q''_{asol} é o fluxo de radiação absorvido diretamente e solar difuso (ondas curtas), W/m^2 ; q''_{LWR} é o fluxo de radiação de ondas de longo comprimento trocado com o ar e arredores, W/m^2 ; q''_{conv} é a troca de fluxo convectivo com o ar externo, W/m^2 ; q''_{ko} é o fluxo de condução de calor na parede, W/m^2 . Todos os termos são positivos para o fluxo líquido, exceto o termo de condução, tradicionalmente considerado positivo na direção de fora para dentro da parede. As trocas envolvidas no balanço de energia de superfícies externas são ilustradas na Figura 3.

Figura 3 – Balanço de energia em paredes externas (NREL, 2021c.)



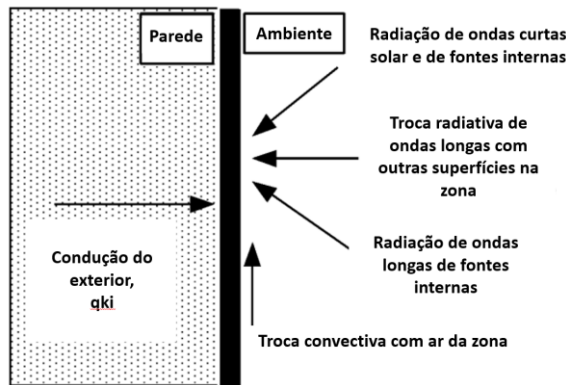
O balanço de energia em paredes internas é modelado com quatro componentes de transferência de calor acoplados: 1) condução pelo elemento do prédio, 2) convecção ao ar, 3)

absorção e refletância de onda curta e 4) troca radiante de ondas longas. A radiação incidente de onda curta é proveniente da radiação solar que entra na zona por meio de janelas e da emissão de fontes internas, como luzes. A troca de radiação de onda longa inclui a absorção e a emissão de radiação de fontes de baixa temperatura, como pessoas, equipamentos e outras superfícies da zona. O balanço de energia na face interna pode ser descrito conforme

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{kl} + q''_{Sol} + q''_{conv} = 0 \tag{3}$$

na qual q''_{LWX} é o fluxo líquido de radiação de ondas longas entre superfícies em uma zona ou grupo de zonas, W/m^2 ; q''_{SW} é o fluxo líquido de radiação de ondas curtas da superfície para as luzes, W/m^2 ; q''_{LWS} é o fluxo de radiação de ondas longas de equipamentos em uma zona ou grupo de zonas, W/m^2 ; q''_{kl} é o fluxo de condução pela parede, W/m^2 ; q''_{Sol} é o fluxo de radiação solar absorvido na superfície, em W/m^2 ; q''_{conv} é o fluxo de calor convectivo na zona, W/m^2 . As trocas envolvidas no balanço de energia de superfícies internas são ilustradas na Figura 4.

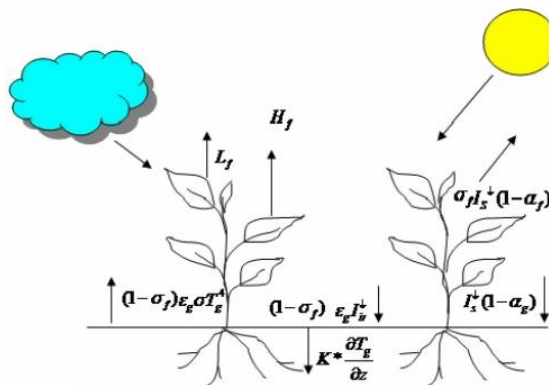
Figura 4 – Balanço de energia em paredes internas (Adaptado de NREL, 2021d.)



2.5. Balanço de energia no telhado verde

O balanço de energia de um telhado verde é dominado pela radiação solar proveniente do Sol, que é oposta por fluxos de calor sensíveis (convecção) e latentes (evaporação) do solo e superfícies de plantas combinado à condução de calor no substrato do solo, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Balanço de energia no telhado verde (NREL, 2021e.)



Para o equacionamento, a energia é dividida entre a camada de folhagem e a superfície do solo. As equações de balanço de energia são parametrizadas e o conjunto de equações é reduzido à solução simultânea de duas equações envolvendo as temperaturas da folhagem e da superfície do solo. O balanço de energia na folhagem é dado por

$$F_f = \sigma_f [I_S^\downarrow (1 - \alpha_f) + \varepsilon_f I_{iV}^\downarrow - \varepsilon_f \sigma T_f^4] + \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f \quad (4)$$

em que I_S^\downarrow é a radiação incidente total para comprimento de ondas curtas, em W/m^2 ; α_f é a absorptividade da planta para comprimentos de ondas curtas, adimensional; ε_f é a emissividade do dossel, adimensional; I_{iV}^\downarrow é a radiação total incidente para comprimentos de ondas longas, em W/m^2 ; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$); T_f é a temperatura de superfície da folhagem, K; T_g é a temperatura de superfície do solo, K; H_f é o fluxo de calor sensível na camada da folhagem, em W/m^2 ; L_f é o fluxo de calor latente na camada de folhagem, em W/m^2 ; ε_g é a emissividade da superfície do solo, adimensional; ε_1 é a relação entre emissividades dada por

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_g + \varepsilon_f - \varepsilon_f \varepsilon_g \quad (5)$$

σ_f é a cobertura fracionada de vegetação, adimensional, dada por

$$\sigma_f = 0,9 - 0,7 \exp - 0,75LAI \quad (6)$$

em que LAI (*leaf area index*) é a razão adimensional entre a área da folhagem e a área do solo.

O balanço de energia no solo é dado por

$$F_g = (1 - \alpha_f) [I_S^\downarrow (1 - \alpha_g) + \varepsilon_g I_{iV}^\downarrow - \varepsilon_g \sigma T_g^4] - \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_g + L_g + K \frac{\partial T_g}{\partial z} \quad (7)$$

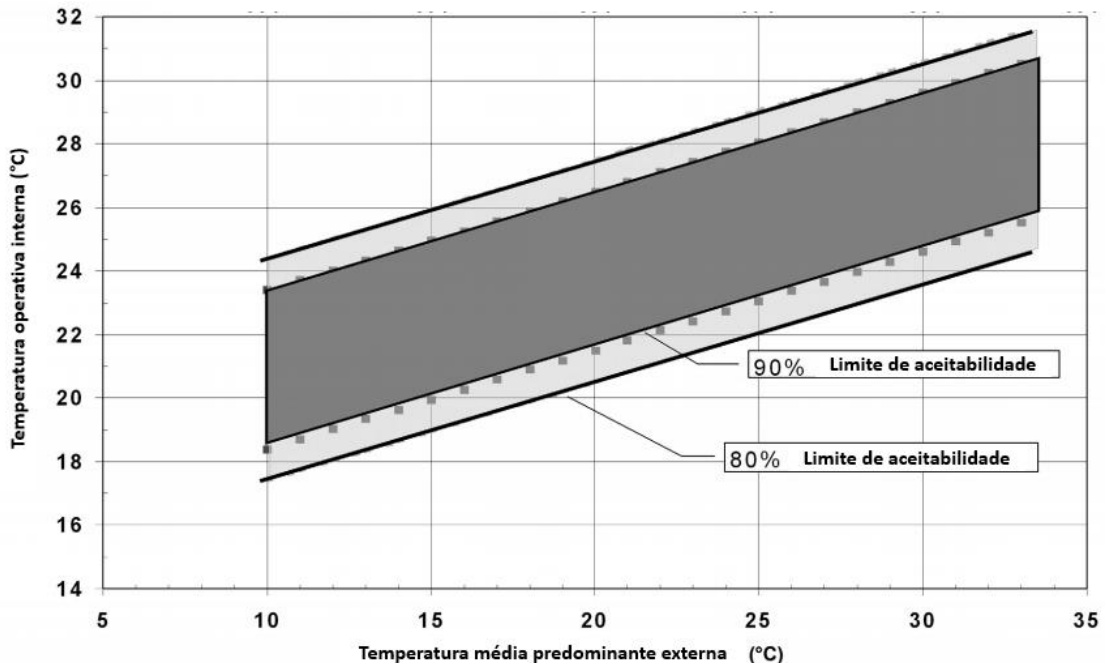
em que I_S^\downarrow é a radiação incidente total para comprimento de ondas curtas, em W/m^2 ; α_f é a absorptividade da planta para comprimentos de ondas curtas, adimensional; α_g é a absorptividade do solo para comprimentos de ondas curtas, adimensional; ε_g é a emissividade do solo, adimensional; I_{iV}^\downarrow é a radiação total incidente para comprimentos de ondas longas, em W/m^2 ; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$); T_f é a temperatura de superfície da folhagem, K; T_g é a temperatura de superfície do solo, K; ε_g é a emissividade da superfície do solo, adimensional; ε_1 é a relação entre emissividades dada pela Equação 5; H_g é o fluxo de calor sensível na camada do solo, em W/m^2 ; L_g é o fluxo de calor latente na camada do solo, em W/m^2 ; $K \frac{\partial T_g}{\partial z}$ é o fluxo de calor por condução para o substrato do solo, em W/m^2 .

2.6. Modelo adaptativo para conforto térmico

O conforto térmico é a condição mental, mensurada por avaliação subjetiva, que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2020a). Para obter a medida de horas de conforto térmico da edificação, o presente trabalho adotou o modelo adaptativo estabelecido por De Dear e Brager, 1998, cujo estudo concluiu que ocupantes em prédios naturalmente ventilados toleravam uma faixa maior de temperaturas do que era estabelecido no modelo do voto médio

previsto (PMV). A faixa de temperaturas operativas aceitáveis no modelo adaptativo é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 – Limites aceitáveis para temperatura operativa interna do modelo adaptativo (Adaptado de ASHRAE, 2020b.)



Os limites de temperatura para aceitabilidade de 80% dos ocupantes são definidos como

$$\text{Limite superior de 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 t_{pma(out)} + 21,3 \quad (8)$$

$$\text{Limite inferior de 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 t_{pma(out)} + 14,3 \quad (9)$$

em que $t_{pma(out)}$ é a temperatura média predominante do ar, $^{\circ}\text{C}$, definida como a média aritmética das temperaturas medias externas ao longo de um determinado período de dias. Neste trabalho, foram usados dois dias para calcular a temperatura média predominante.

2.7. Cálculos de Ventilação

A taxa de ventilação dos ambientes foi calculada com base na metodologia disposta por Lamberts, et al, 2016. O número de trocas de ar por hora em um ambiente (ren/h) é dado por

$$N = \frac{3600 Q}{V} \quad (10)$$

em que V é o volume do ambiente, em m^3 ; Q é a vazão de ar no ambiente, m^3/s , que para o caso de ventilação unilateral sem diferença de temperatura é dada por

$$Q = 0,0025 A_e V_z \quad (11)$$

em que A_e é a área equivalente de abertura e V_z é a velocidade do vento na altura de interesse, m/s , dada por

$$V_z = V_{10} K Z^a \quad (12)$$

em que V_{10} é a velocidade do vento na altura de 10 m, m/s; Z é a altura da cumeeira para edificações de até dois andares, ou a altura da janela em edificações mais altas, em m; K e a são coeficientes dependentes da localização da edificação, adimensionais. Para o caso de ventilação cruzada sem diferença de temperatura, a vazão de ar no ambiente é dada por

$$Q_w = 0,6 A_w V_z \sqrt{\Delta C_p} \quad (13)$$

em que ΔC_p é o coeficiente de pressão do vento, adimensional; A_w é a área equivalente de aberturas, em m^2 , dada por

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(\sum A_{entrada})^2} + \frac{1}{(\sum A_{saída})^2} \quad (14)$$

em que $A_{entrada}$ é a área de aberturas pela qual o vento entra no prédio, m^2 ; $A_{saída}$ é a área de aberturas pela qual o vento sai do prédio, m^2 .

3. METODOLOGIA

O ponto de partida foi a construção do modelo da edificação no EnergyPlus™, com a aplicação de simplificações para possibilitar sua simulação. Foram selecionadas alternativas de diferentes tipos de coberturas, além do telhado de fibrocimento existente na oficina, para análise no software: telhado de fibrocimento com forro de gesso, telha cerâmica, telha de concreto, telha sanduíche e telhado verde. Para cada tipo de cobertura foram simulados dois diferentes cenários: conforme as cores originais de paredes e telhas e com a pintura de telhados e paredes de branco. Os resultados das simulações foram avaliados com base nas horas anuais de conforto térmico medidas pelo modelo adaptativo para conforto térmico.

3.1. Arquivo climático

O arquivo climático é uma ferramenta importante para a simulação térmica do EnergyPlus™, e contém dados meteorológicos de temperatura, pressão, umidade, radiação solar, direção e velocidade do vento. O arquivo climático (INMET, 2018) usado foi desenvolvido por meio de coleta de dados entre 2003 e 2017 de uma estação climática do Instituto Nacional de Meteorologia localizada no aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, RS. Os dados são organizados em um arquivo climático que se refere ao TRY (*Test Reference Year*, ou Ano Climático de Referência), formato padrão que contém informações climáticas para todas as horas de um ano.

3.2. Edificação analisada

A edificação objeto da simulação é uma oficina industrial, localizada no município de Canoas (RS), que apresenta uma área de 1320,68 m^2 e um pé-direito de 8,0 m, dividida em três zonas térmicas, correspondentes à área principal da oficina, ao almoxarifado e à serralheria. A construção dispõe de paredes internas e externas feitas de tijolos com espessura de 15 cm e um telhado de fibrocimento sem forro. A edificação não apresenta janelas, apenas portas e aberturas superiores permitindo circulação de ar.

3.2.1 Ventilação

As trocas de ar da edificação foram calculadas considerando que os portões são mantidos 50% abertos durante o horário de operação da oficina. Para as zonas térmicas referentes à zona principal e à serralheria, os cálculos consideraram ventilação cruzada, enquanto foi aplicada ventilação unilateral à zona térmica do almoxarifado. Os resultados dos cálculos de trocas de ar encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de ventilação adotados nas zonas térmicas do modelo. Valores apresentados em número de renovações do volume de ar do ambiente por hora (ren/h).

Zona Térmica	Ventilação no horário de operação (ren/h)	Ventilação fora do horário de operação (ren/h)
Zona Principal	12	7,40
Almoxarifado	1,33	0,63
Serralheria	20	9,10

3.2.2. Cargas térmicas internas

As cargas internas de luzes e equipamentos foram declaradas com base no que foi observado na edificação real. Os equipamentos e iluminação foram configurados de acordo com o perfil horário de ocupação da oficina, tendo sua potência reduzida em 50% durante o horário de almoço (12h30 até 13h30). O calor dissipado pelo corpo (atividade metabólica) foi obtido na norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2020c). Do total, 30% do calor dissipado foi considerado como fração radiante. Dados detalhados sobre a carga térmica de equipamentos, luzes e pessoas da edificação são encontrados nos Apêndices A e D.

3.3. Soluções propostas

3.3.1. Aplicação de forro de gesso ao telhado de fibrocimento

Foi elaborado um cenário com a aplicação de um forro de gesso com 16 mm de espessura ao telhado de fibrocimento. O principal efeito esperado da adição do forro de gesso é uma redução da infiltração devido às entradas de ar disponíveis nas telhas. Estimou-se que a adição do forro de gesso reduz a infiltração de 4 ren/h para 0,2 ren/h. Não foram adotados modelos matemáticos para a estimativa da taxa de infiltração, porém o seu aumento de 0 ren/h para 10 ren/h ocasionou em um aumento das horas de conforto térmico de apenas 0,67%, o que demonstra que essa é uma variável de pouco impacto nos resultados.

3.3.2. Telhas e forros

O conforto térmico da edificação foi simulado para quatro diferentes tipos de telhas: a telha original de fibrocimento (simulada com e sem forro de gesso), telha de concreto, telha de cerâmica e telha sanduíche (camada de lâmina de vidro interna envolvida por camadas exteriores de lâminas de aço). As telhas sanduíche, de concreto e de cerâmica foram testadas em conjunto com um forro de madeira, combinação para a qual a infiltração no teto foi estimada como 0,4 renovação por hora. Informações sobre a condutividade, massa específica e calor específico das telhas foram retiradas da NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2005), Tabela B.3, e estão dispostas na

Tabela 2. Informações detalhadas sobre os forros usados nas simulações são disponibilizados no Apêndice B.

Tabela 2 – Identificação dos materiais utilizados na estrutura das telhas.

Elemento	Espessura (mm)	Condutividade (W/m.K)	Massa Específica (Kg/m ³)	Calor Específico (J/Kg.K)	Absortividade Solar
Telha de Fibrocimento	6,4	0,95	1900	840	0,6
Telha Cerâmica	20	1,05	2000	920	0,6
Telha Sanduíche – lâmina de aço externa	0,65	55	7800	460	0,45
Telha Sanduíche – lâ de vidro interna	50	0,045	50	700	---
Telha de Concreto	40	1,75	2200	1000	0,45

3.3.3. Telhado Verde

Telhados verdes são caracterizados, segundo o *Green Roofing Guideline*, FLL, 2008 *apud* Silveira, 2020, em três tipos: extensivo, semi-intensivo e intensivo, de acordo com a espessura do solo e altura das plantas. O LAI (*leaf area index*) é a razão entre a área do telhado e a área de folhagem existente no telhado verde. No presente trabalho, foi adotado um telhado com LAI = 0,2, do tipo extensivo. Para a simulação da irrigação do telhado verde, foram usados os valores da média histórica de precipitação para a cidade de Porto Alegre.

3.3.4. Pintura de Branco

O aumento da refletância solar de superfícies, ou redução de sua absortividade solar, é uma estratégia para minimizar o impacto da radiação solar no verão (WASSOUF, 2014). No presente trabalho, foram simulados cenários em que paredes e telhados foram pintados de branco e tiveram sua absortividade reduzida para 0,2. Na simulação com telhado verde, apenas as paredes foram pintadas de branco.

4. RESULTADOS

4.1. Edificação inicial

A análise das horas de conforto térmico da edificação foi feita durante o seu período de utilização, entre 07h30 e 17h00. A edificação uma média geral de 41,31% de horas úteis com temperaturas dentro da faixa aceitável em sua zona térmica principal. O mês de maior percentual de horas com temperaturas aceitáveis foi abril; o com o menor, julho. Uma maior proporção de horas fora da faixa aceitável de temperaturas foi encontrada no inverno que no

verão. O percentual de horas de conforto térmico para as três zonas térmicas é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Percentual mensal de horas de conforto térmico durante horário de operação da edificação por zona térmica.

	Principal	Almoxarifado	Serralheria
Janeiro	39,55%	41,82%	41,36%
Fevereiro	45,50%	50,50%	48,50%
Março	43,04%	50,43%	48,70%
Abril	62,00%	66,00%	63,00%
Maio	36,09%	33,91%	32,61%
Junho	29,55%	25,00%	25,91%
Julho	19,05%	17,62%	16,67%
Agosto	24,35%	25,65%	25,65%
Setembro	50,00%	48,57%	46,19%
Outubro	61,36%	60,91%	60,91%
Novembro	44,55%	49,55%	50,91%
Dezembro	43,33%	44,76%	50,00%
Total	41,31%	42,65%	42,31%

4.2. Soluções propostas

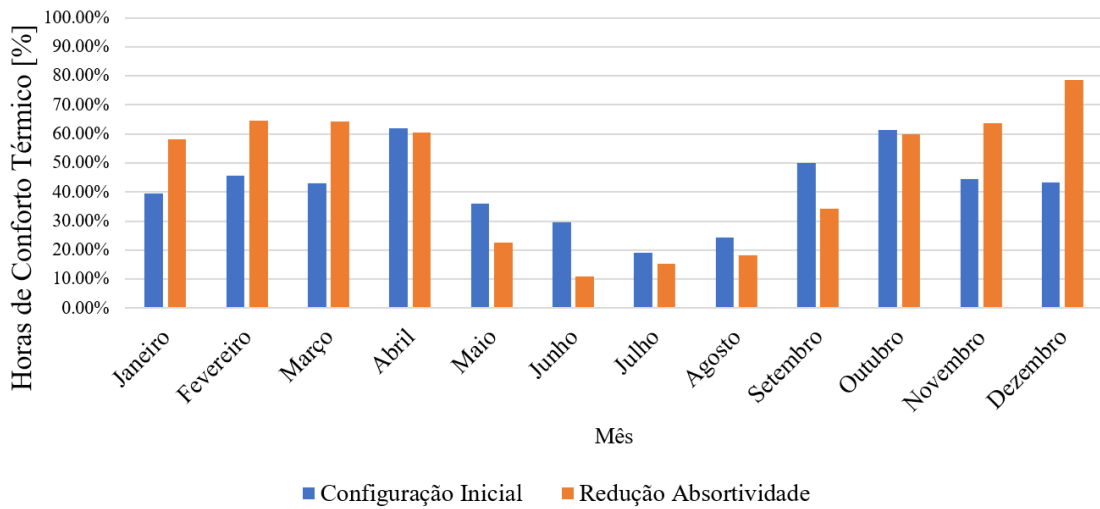
Todos os telhados simulados resultaram em aumento do número de horas de conforto térmico em relação ao cenário original, de 10,34%, para a edificação com telhado de fibrocimento e pintura branca de telhas e paredes, até 28,86%, para a edificação com telhado verde e pintura branca de paredes. Todos os cenários simulados apresentaram um percentual de horas de desconforto térmico acima de 45%. Dados detalhados sobre o conforto térmico para a zona térmica principal em cada um dos cenários são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Percentual anual de horas de conforto térmico na zona principal para diferentes tipos de telhado e absorvidade de paredes

	Fibrocimento	Fibrocimento com Forro	Telha Cerâmica	Telha Concreto	Telha Sanduíche	Telhado Verde
Configuração inicial	41,31%	47,15%	46,77%	47,23%	50,12%	53,19%
Alteração de Absortividade	45,58%	48,38%	48,27%	48,31%	50,85%	53,23%

A pintura de paredes e telhas de branco para redução da absorvidade promoveu uma ampliação nas horas de conforto térmico em relação ao cenário original para cada tipo de telhado. Análises mensais do impacto das soluções para cada um dos meses do ano para a edificação com telhado original de fibrocimento foram realizadas e estão disponibilizadas na Figura 7.

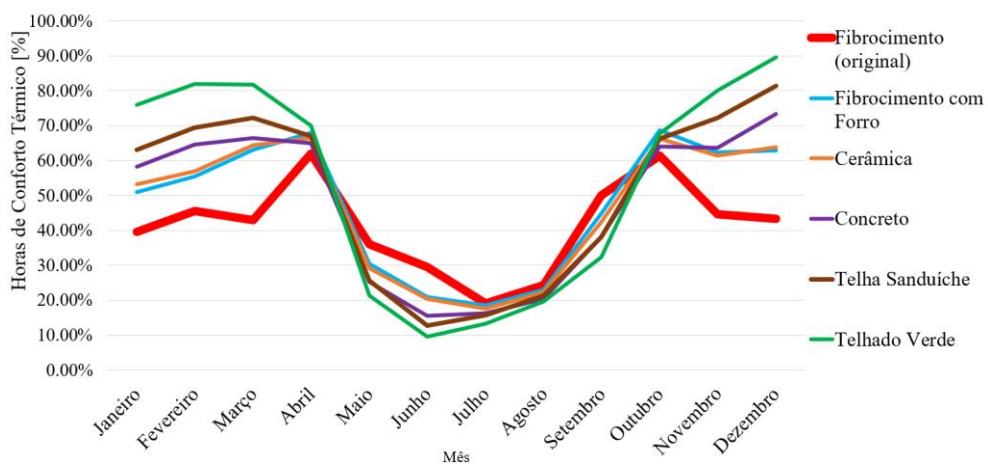
Figura 7 – Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico na edificação com telhado de fibrocimento e com paredes e telhas pintadas de branco



Em relação à edificação original, a estratégia de redução de absorvidade representou uma redução no número de horas de conforto térmico durante os meses de inverno e seu aumento durante os meses de verão. A redução da absorvidade de paredes e telhas pode representar, na quantidade de horas de conforto térmico para o prédio, ampliações de até 81%, para o mês de dezembro, e reduções de até 63%, para o mês de junho.

Seguindo a análise mensal do percentual mensal de horas de desconforto térmico para os diferentes tipos de telhado, Figura 8, é possível observar que todos os tipos de telha analisados resultam em ampliação do percentual de horas de conforto térmico durante os meses de verão e sua redução durante os meses de inverno. Para todos os tipos de telhado, a maior redução no percentual de horas de conforto térmico em relação ao telhado original de fibrocimento ocorre no mês de junho, enquanto o maior aumento ocorre no mês de dezembro.

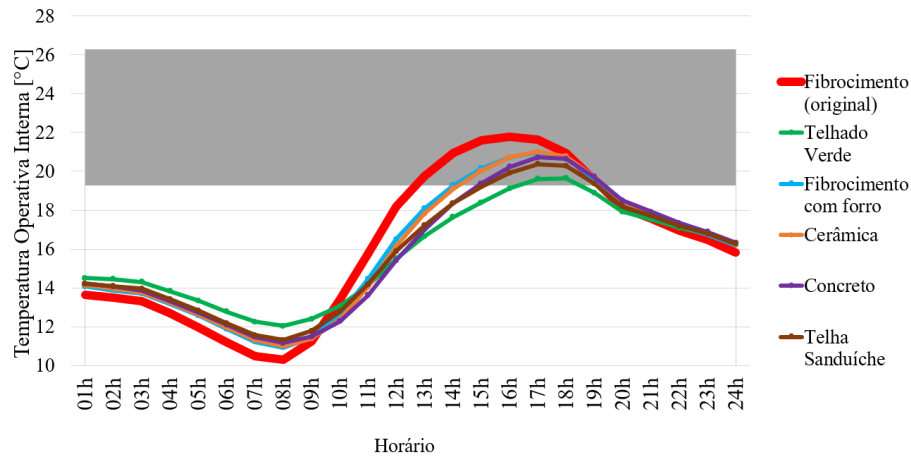
Figura 8 - Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico para diferentes tipos de telhado, zona principal



A análise do perfil de temperaturas operativas no mês de junho é ilustrada na Figura 9, que representa o dia 10/06, considerado representativo para o mês de junho por ter uma temperatura média próxima àquela do mês. Na Figura 9, é possível notar que os telhados propostos

promovem, em diferentes intensidades, uma redução da amplitude de temperaturas e um atraso térmico em relação ao telhado original.

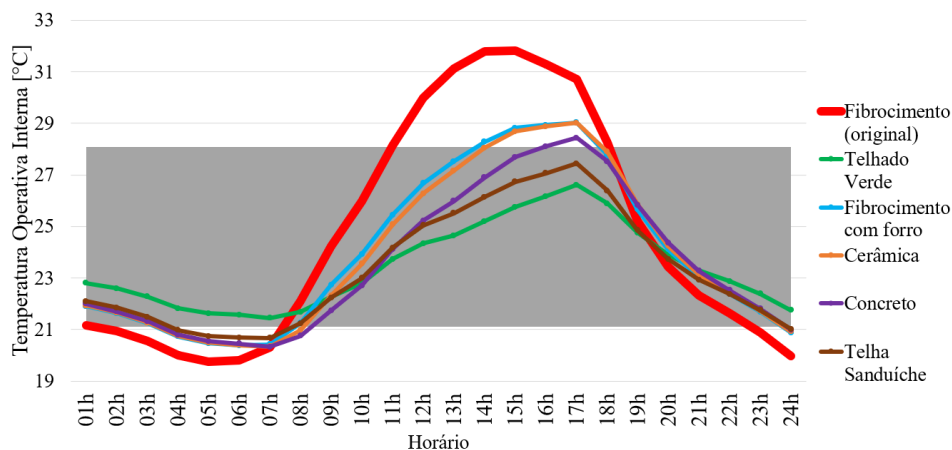
Figura 9 – Perfil de temperaturas operativas na zona principal da edificação para diferentes tipos de telhados, dia 10/06



O perfil de temperaturas operativas para o ambiente com o telhado original de fibrocimento alcança a faixa de temperaturas aceitáveis, em cinza na figura 9, principalmente durante o horário de operação da edificação. A redução da amplitude térmica resulta em uma proporção menor das horas de operação na faixa de conforto térmico, porém também ocasiona temperaturas mais altas nos períodos mais frios do dia. O atraso térmico também promove, em menor grau, uma redução nas horas de conforto térmico, visto que os perfis de temperatura para os telhados de fibrocimento com forro, cerâmica e concreto encontram-se dentro dos limites de aceitabilidade em horários após o final da operação diária da oficina.

A análise do perfil de temperaturas operativas no mês de dezembro é ilustrada na Figura 10, que representa o dia 06/12, considerado representativo para o mês de dezembro por ter uma temperatura média próxima àquela do mês. Na Figura 10, é possível notar que os telhados propostos promovem redução da amplitude de temperaturas e atraso térmico em relação ao telhado original, conforme também observado no mês de junho.

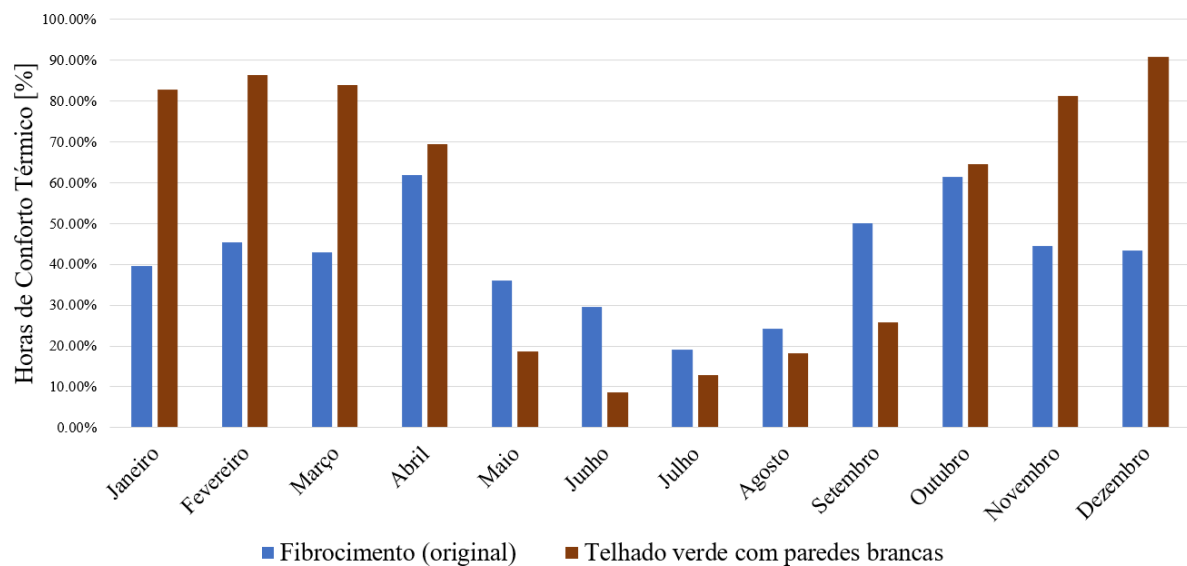
Figura 10 – Perfil de temperaturas operativas na zona principal da edificação para diferentes tipos de telhados, dia 06/12



Os telhados de fibrocimento com forro, cerâmica, concreto, telha sanduíche e telhado verde promovem o achatamento do perfil de temperaturas, na mesma ordem encontrada no mês de junho. O perfil de temperaturas para o telhado original de fibrocimento encontra-se acima do limite superior de aceitabilidade, principalmente durante o horário de operação da edificação, e a redução de sua amplitude resulta numa maior quantidade de horas dentro da faixa aceitável, em cinza na figura 10.

As soluções de climatização passivas propostas demonstraram-se efetivas em ampliar o conforto térmico durante o verão, com o contraponto de reduzi-lo durante o inverno. A comparação do percentual mensal de horas de conforto térmico da edificação original com a solução de melhor performance é ilustrada na figura 11.

Figura 11 – Percentual mensal de horas úteis de conforto térmico na edificação original e na oficina com telhado verde e paredes brancas



A adoção de telhado verde com paredes brancas amplia as horas mensais de conforto térmico em mais de 80% entre os meses de novembro a março, porém as reduz nos meses de maio a setembro. O telhado verde, embora reduza as horas de conforto térmico no inverno, reduz a intensidade do frio nos momentos de temperaturas mais baixas em relação à configuração original, conforme ilustrado na Figura 9.

5. CONCLUSÃO

A adoção de soluções passivas de climatização é uma estratégia para aproximar a edificação da condição de conforto térmico. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de soluções passivas de climatização sob a quantidade anual de horas de conforto térmico observadas em uma oficina industrial.

As soluções de climatização passiva propostas apresentaram melhoras nos indicadores de satisfação com a temperatura ambiente. A edificação inicial apresentou 41,31% de horas úteis (entre 07h30 e 17h00) de conforto térmico, índice que foi ampliado para 53,23% na simulação de melhor performance do estudo, com adoção de telhado verde e pintura das paredes de branco. As alterações propostas ampliaram as horas de conforto térmico durante os meses de verão e as reduziram durante os meses de inverno. A alteração de pintura de paredes e telhas de branco amplia as horas de conforto térmico acima de 40% nos meses entre novembro e março, enquanto a solução de melhor performance apresenta um aumento percentual das horas

confortáveis acima de 80% no mesmo período. Durante os meses mais frios, os telhados propostos reduziram a amplitude de temperaturas e aumentaram a temperatura do ambiente nos períodos de temperaturas mais baixas do dia.

Os telhados estudados representaram um aumento modesto no indicador anual de horas de conforto térmico, mas tiveram grande êxito em ampliar o conforto térmico durante os meses de verão sem a necessidade de instalação de sistemas de ar-condicionado. A adoção das soluções passivas analisadas neste trabalho, principalmente o telhado verde, é recomendada para minimizar o desconforto térmico, visto que a principal reclamação dos ocupantes é sobre a condição térmica no verão, apesar da simulação demonstrar que há mais horas de desconforto térmico nos meses de inverno. Outras iniciativas de climatização ativa ou passiva, como o fechamento de portas ou instalação de aquecedores, podem ser consideradas para melhorar a condição térmica nos meses de inverno.

O trabalho verificou o efeito de diferentes tipos de telhado no conforto térmico de uma edificação complexa de oficina industrial, sem janelas e com pé-direito de 8,0 m. Foram avaliados os efeitos de soluções de climatização passivas e ambientalmente corretas, que demonstraram eficácia em reduzir o desconforto térmico durante os meses de verão. A avaliação de outras soluções de climatização passiva, como paredes verdes, para edificações industriais, assim como a avaliação da viabilidade econômica e retorno sobre investimento das diferentes soluções propostas no presente trabalho, são sugestões para próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2017 **ASHRAE handbook: fundamentals**. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE, p. 183-213, 2017.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for human Occupancy**. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE, p. 6-20, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: desempenho térmico de edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

DA SILVEIRA, Diogo Marramon. **Análise térmica e energética de soluções passivas para edificação residencial familiar em porto alegre: telhado verde, paredes verdes e película de vidro**. Orientador: Letícia Jenisch Rodrigues. 2020. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/217404>>

de Dear, R., & Brager, G. (1998). **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. UC Berkeley: Center for the Built Environment, 1998. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>>

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica EPE 030/2018: Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2018. p. 11-12, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf>

FLL. LANDSCAPE DEVELOPMENT AND LANDSCAPING RESEARCH SOCIETY. **Green Roof Guidelines. Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs.** Bonn: Landscape Development Landscaping Research Society, 2018.

LAMBERTS, R., et al. **Apostila ECV 5161: Desempenho Térmico de Edificações.** Florianópolis, 2016 (Apostila)

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **EnergyPlus.** Versão 8.7.0. [S. l.], 30 mar. 2017. Disponível em: <<https://energyplus.net/downloads>>. Acesso em 01 nov. 2021.

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations.** 2021, p. 25-30, p. 182-191. Disponível em:<https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/EngineeringReference.pdf>

WASSOUF, Micheel. **Da casa passiva à norma passivhaus: A arquitetura passiva em climas quentes.** 1. ed.: Editora Gustavo Gili, 2014. 143 p. ISBN 978-8425224522.

ZANELLA, Rafael Vinicius. **Análise da influência do tipo de telha no desempenho térmico da edificação utilizando simulação computacional.** Orientador: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira. 2019. 33 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/200224>>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

Tabela A.1. – Cargas térmicas internas da zona principal

CARGA INTERNA	POTÊNCIA TOTAL
Dez pessoas, em trabalho pesado em máquinas	4230 W
Oito desktops	4800 W
Oito televisores 32"	1600 W
Duas máquinas de usinagem	1100 W
408 lâmpadas fluorescentes	16320 W

Tabela A.2. – Cargas térmicas internas da zona almoxarifado

CARGA INTERNA	POTÊNCIA TOTAL
Duas pessoas, digitando	234 W
Dois desktops	1200 W
Dois monitores 19"	200 W
36 lâmpadas fluorescentes	1440 W

Tabela A.3. – Cargas térmicas internas da zona serralheria

CARGA INTERNA	POTÊNCIA TOTAL
Duas pessoas, em trabalho leve em máquinas	414 W
Uma máquina de corte a laser	130 W
104 lâmpadas fluorescentes	4160 W

APÊNDICE B – CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE FORROS E TELHAS

Tabela B.1. – Composição dos telhados e forros

Elemento	Telhado fibrocimento	Telhado fibrocimento com forro de gesso	Telhado Cerâmica	Telhado Concreto	Telha Sanduíche	Telhado Verde
U (W/m ² K)	149,25	3,49	1,10	1,09	0,90	0,24
Camada Externa	Telha fibrocimento 6,4 mm	Telha fibrocimento 6,4 mm	Telha cerâmica 20 mm	Telha Concreto 40 mm	Lâmina de aço 0,65 mm	Isolamento poliestireno 150 mm
Camada 2	-----	Ar 300 mm	Ar 300 mm	Ar 300 mm	Lã de vidro 50 mm	Concreto lightweight 200,0 mm
Camada 3	-----	Gesso 16 mm	Madeira 10 mm	Madeira 10 mm	Lâmina de aço 0,65 mm	Gesso 10 mm
Camada 4					Ar 300 mm	
Camada 5					Madeira 10 mm	

Tabela B.2. – Composição de paredes e portas

Elemento	Paredes	Portões Metálicos	Portão lona	Piso
U (W/m ² K)	0,59	22640	133,33	5,55
Camada Externa	Tijolos 0,15 m	Metal 0,002 m	Polietileno 0,003 m	Bloco de concreto 0,20 m

Fonte: Base de dados do EnergyPlus (NREL, 2017)

APÊNDICE C – PROPRIEDADES DO TELHADO VERDE E IRRIGAÇÃO

Tabela C.1. – Propriedades do Telhado Verde

Propriedade	Valor
Altura das plantas (m)	0,1
Leaf Area Index	0,2
Refletividade de folhas	0,2
Emissividade de Folhas	0,95
Espessura do solo (m)	0,08
Condutividade do solo seco [W/(m.K)]	0,4
Calor específico do solo seco [J/(kg.K)]	1100
Absortividade Térmica	0,95
Absortividade Solar	0,8
Absortividade Visível	0,7

Fonte: Base de dados do EnergyPlus (NREL, 2017)

Tabela C.2. – Irrigação diária do telhado verde por mês do ano

Mês	Irrigação diária (mm)
Janeiro	3,23
Fevereiro	3,88
Março	3,37
Abril	2,87
Maio	3,05
Junho	4,42
Julho	3,93
Agosto	4,52
Setembro	4,65
Outubro	3,69
Novembro	3,47
Dezembro	3,26

APÊNDICE D – CARGAS HORÁRIAS DE ILUMINAÇÃO, PESSOAS E EQUIPAMENTOS

Tabela D.1. – Carga horária de iluminação para as zonas térmicas

	Principal	Almoxarifado	Serralheria
00:00 – 07:30	0 W	0 W	0 W
07:30 – 12:30	16320 W	1440 W	4160 W
12:30 – 13:30	8160 W	720 W	2080 W
13:30 – 17:00	16320 W	1440 W	4160 W
17:00 – 00:00	0 W	0 W	0 W

Tabela D.2. – Ocupação das zonas térmicas em dias de semana

	Principal	Almoxarifado	Serralheria
00:00 – 07:30	0 pessoas	0 pessoas	0 pessoas
07:30 – 12:30	10 pessoas	2 pessoas	2 pessoas
12:30 – 13:30	5 pessoas	1 pessoa	1 pessoa
13:30 – 17:00	10 pessoas	2 pessoas	2 pessoas
17:00 – 00:00	0 pessoas	0 pessoas	0 pessoas

Tabela D.3. – Potência de equipamentos nas zonas térmicas em dias de semana

	Principal	Almoxarifado	Serralheria
00:00 – 07:30	0 W	0 W	0 W
07:30 – 12:30	7500 W	1400 W	130 W
12:30 – 13:30	3225 W	700 W	0 W
13:30 – 17:00	7500 W	1400 W	130 W
17:00 – 00:00	0 W	0 W	0 W