

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

SÉRGIO AUGUSTO FERRAZZA DA SILVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES DO
PARQUE CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO PAMPA (PAMPATEC) ATRAVÉS
DE SIMULAÇÃO COM SOFTWARE ENERGYPLUS**

**Alegrete
2017**

SÉRGIO AUGUSTO FERRAZZA DA SILVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES DO
PARQUE CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO PAMPA (PAMPATEC) ATRAVÉS
DE SIMULAÇÃO COM SOFTWARE ENERGYPLUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Carotenuto

**Alegrete
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

d586a da Silva, Sergio Augusto Ferrazza

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES DO
PARQUE CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO PAMPA (PAMPATEC) ATRAVÉS DE
SIMULAÇÃO COM SOFTWARE ENERGYPLUS / Sergio Augusto Ferrazza da
Silva.

127 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA MECÂNICA, 2017.

"Orientação: Adriano Roberto da Silva Carotenuto".

1. Desempenho Termoenergético. 2. Refrigeração . 3.
Conforto Térmico. I. Título.

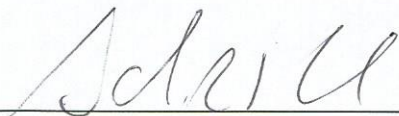
SÉRGIO AUGUSTO FERRAZZA DA SILVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES
DO PARQUE CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO PAMPA (PAMPATEC)
ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COM SOFTWARE ENERGYPLUS**

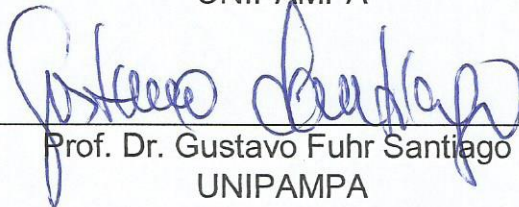
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

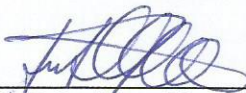
Banca examinadora:



Prof. Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Gustavo Fuhr Santiago
UNIPAMPA



Profª. Drª. Ana Claudia Costa de Oliveira
UNIPAMPA

A meus pais
e minha namorada, por
acreditarem em mim quando eu
mesmo não acreditava.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e meu irmão, por nunca terem medido esforços para que pudesse alcançar meu sonho, pela confiança depositada em mim, e pelo suporte financeiro, psicológico e emocional.

A minha namorada, por ser uma das melhores pessoas que conhecia durante a graduação, pelo apoio, confiança, carinho e amor, por ser meu porto seguro não somente durante a execução deste trabalho, mas em todos os momentos de dificuldade.

Ao professor Adriano Roberto da Silva Carotenuto, por aceitar orientar-me nesta etapa tão importante da caminhada acadêmica, por todas as correções e ensinamentos passados e principalmente pela paciência e empenho demonstrado durante os encontros para orientação.

Aos colegas Gabriel Engers Taube, por servir de contato, repassando os aprendizados nos momentos em que não pude estar presente nos encontros, e Caroline Obregon, pelo auxílio na tomada de informações das máquinas instaladas nas edificações e por disponibilizar a sua sala no PampaTec para que eu pudesse desenvolver esta pesquisa.

A todos os professores da UNIPAMPA pelo conhecimento teóricos e práticos transmitido durante a graduação.

A todos os demais familiares, amigos e colegas, que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desta etapa.

“Dinheiro vem e vai, a gente sabe disso. O que realmente importa na vida são as pessoas que estão com a gente aqui... Aqui e agora”.

Dominic Toretto

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar o desempenho termoenergético das edificações que constituem o Parque Científico e Tecnológico do Pampa (PampaTec), localizado na Avenida Tiarajú – Projetado, Alegrete – RS. O estudo realizado neste trabalho tem como foco propor melhorias físicas e no sistema de refrigeração, com objetivo de melhorar o conforto térmico dos ocupantes das edificações juntamente com uma redução no consumo de energia elétrica. A ferramenta utilizada para realizar as simulações e avaliar o desempenho termoenergético do PampaTec é o software EnergyPlus, versão 8.6. As simulações são realizadas utilizando 14 dias de projeto, segundo ASHRAE (2013) juntamente com arquivo climático da cidade de Alegrete. Os ambientes das edificações do PampaTec estão divididos em 24 zonas térmicas, 8 zonas referentes ao Prédio Esquerdo, 6 referentes ao Prédio Administrativo e 10 referentes ao Prédio Direito. A delimitação de cada zona térmica é declarada no programa por superfícies constituídas dos materiais descritos no projeto arquitetônico do PampaTec, resultando em 211 superfícies de transferência de calor divididas entre paredes, portas e janelas. São simulados 4 tipos distintos de películas aplicadas nos vidros das edificações, assim como a substituição da iluminação fluorescente pela LED, avaliando a influência destas alterações na demanda de potência de refrigeração dos ambientes e no consumo de energia elétrica. Posteriormente, são selecionadas máquinas que atendam a demanda de refrigeração e que proporcionem conforto térmico em cada um dos ambientes analisados, mantendo-se o mesmo sistema de refrigeração (Split) nas edificações. A avaliação do conforto térmico é dada através de variáveis representativas, tais como, temperatura operativa, temperatura do ar da zona e umidade relativa do ar da zona, onde objetiva-se adequar os ambientes aos parâmetros de conforto propostos por ASHRAE (2005). Ao concluir as análises, observou-se que utilização das películas Cinza Escuro propostas reduziu em 22,3% a demanda do sistema de refrigeração para o PampaTec. Já a proposta de iluminação LED reduziu a demanda de potência de refrigeração em mais 4,4% e o consumo de energia elétrica em 14,3% ao ano. Por fim, as máquinas selecionadas foram capazes de atender aos parâmetros de conforto térmico (umidade relativa do ar e temperatura média do ar da zona) e ainda reduziram em 23,3% o consumo de energia elétrica, comparado com as potências atualmente instaladas.

Palavras-chave: Conforto Térmico, EnergyPlus, Energia Elétrica, Refrigeração.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the thermoenergy performance of the buildings that constitute the Pampa Scientific and Technological Park (PampaTec), located at Tiarajú avenue - Projetado, Alegrete - RS. The study carried out in this work aims to propose physical improvements and in the refrigeration system, aiming to improve the thermal comfort of the occupants of the buildings together with a reduction in the consumption of electric energy. The tool used to perform the simulations and to evaluate the thermal energy performance of PampaTec is EnergyPlus software, version 8.6. The simulations are carried out using 14 design days, according to ASHRAE (2013) together with annual climatic design conditions for Alegrete. PampaTec buildings' environments are divided into 24 thermal zones, 8 zones related to the Left Building, 6 to the Administrative Building and 10 for the Right Building. The delimitation of each thermal zone is declared in the program by surfaces composed of the materials described into PampaTec's architectural design, resulting in 211 heat transfer surfaces divided between walls, doors and windows. Four different types of glass films are simulated in the building windows as well as the LED lighting as a replacement for the fluorescent in order to evaluate the influence of these changes in the demand of cooling power of the environments and in the electrical power consumption. After that, air conditioning units cooling capacity are selected to provide thermal comfort in each of the analyzed environments, keeping the same air conditioning system currently installed (split). The evaluation of the thermal comfort is given through representative parameters, such as operating temperature, zone mean air temperature and relative air humidity, where it is aimed to adapt the environments to the comfort parameters proposed by ASHRAE (2005). By concluding the analyzes, it was observed that using the proposed Dark Gray films reduced PampaTec's cooling system demand by 22.3%. While the LED lighting proposal reduced the demand for cooling capacity by 4.4% and electricity consumption by 14.3% per year. Lastly, the air conditioning units cooling capacity simulated were able to meet the parameters of thermal comfort (relative air humidity and mean air temperature of the zone) and also reduced electrical power consumption by 23.3% compared to the currently air conditioning unit cooling capacity installed.

Palavras-chave: Eletric Power, EnergyPlus, Refrigeration, Thermal Comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas de conforto térmico para verão e inverno.....	27
Figura 2 – Fluxograma apresentando a metodologia aplicada ao estudo.	30
Figura 3 – Representação da zona térmica.	34
Figura 4 – Processos do balanço de energia na zona térmica.	35
Figura 5 – Balanço de energia na superfície externa.	36
Figura 6 – Balanço de energia superfície interna.....	37
Figura 7 – Fluxo de calor através de superfícies translúcidas.	39
Figura 8 – Disposição das edificações vista frontal.	41
Figura 9 – Disposição das edificações, projeto arquitetônico vista superior.	41
Figura 10 – Disposição das edificações, imagem real vista aérea.....	42
Figura 11 – Ilustração da configuração das zonas térmicas dos tetos referente ao Prédio Administrativo.	43
Figura 12 – Fachada do Prédio Administrativo.....	44
Figura 13 – Planta baixa, Prédio Administrativo.....	44
Figura 14 – Vista superior ou planta baixa do zoneamento térmico do Prédio Administrativo, realizado no Google Sketchup.	45
Figura 15 – Fachada do Prédio Esquerdo.....	46
Figura 16 – Planta baixa, Prédio Esquerdo.....	46
Figura 17 – Vista superior ou planta baixa do zoneamento térmico do Prédio Esquerdo, realizado no Google Sketchup.	47
Figura 18–Fachada do Prédio Direito.....	48
Figura 19 – Planta baixa, Prédio Direito.	48
Figura 20 – Vista superior do zoneamento térmico do Prédio Direito, realizado no Google Sketchup.	49
Figura 21 – Dimensões das portas externas.	52
Figura 22 – Dimensões das janelas externas.....	52
Figura 23 – Representação das dimensões das portas internas.	53
Figura 24 – Representação dos sombreamentos no Google Sketchup, Prédio Administrativo.	60
Figura 25 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Esquerdo.....	66
Figura 26 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Administrativo...	67
Figura 27 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Direito.	67
Figura 28 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Esquerdo....	69
Figura 29 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Administrativo.	70
Figura 30 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Direito.	71
Figura 31 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Esquerdo.....	74
Figura 32 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Administrativo....	75
Figura 33 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Direito.	75
Figura 34 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Esquerdo - Sala03.....	79
Figura 35 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Administrativo - Sala01..	79
Figura 36 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Direito - Sala02.	80
Figura 37 – Temperatura do ar da zona, Prédio Esquerdo - Sala03.	83
Figura 38 – Temperatura do ar da zona, Prédio Administrativo - Sala01.	84
Figura 39 – Temperatura do ar da zona, Prédio Direito - Sala02.....	84
Figura 40 – Temperatura operativa, Prédio Esquerdo - Sala03.	86

Figura 41 – Temperatura operativa, Prédio Administrativo - Sala01.	86
Figura 42 – Temperatura operativa, Prédio Direito - Sala02.....	87
Figura 43 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Esquerdo - Sala03.....	88
Figura 44 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Administrativo - Sala01.....	89
Figura 45 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Direito - Sala02.....	90
Figura 46 – Consumo de energia mensal, Prédio Esquerdo.....	92
Figura 47 – Consumo de energia mensal, Prédio Administrativo.....	93
Figura 48 – Consumo de energia mensal, Prédio Direito.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Infiltração de ar por estação nas zonas condicionadas e não condicionadas.	40
Tabela 2 – Materiais construtivos.	50
Tabela 3 – Propriedades termofísicas dos materiais opacos.	51
Tabela 4 – Materiais das aberturas.	53
Tabela 5 – Propriedades óticas do vidro utilizado nas aberturas.	54
Tabela 6 – Resistência térmica das vestimentas.	55
Tabela 7 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Esquerdo.	56
Tabela 8 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Administrativo.	56
Tabela 9 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Direito.	56
Tabela 10 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Esquerdo.	57
Tabela 11 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Administrativo.	57
Tabela 12 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Direito.	58
Tabela 13 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Esquerdo.	58
Tabela 14 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Administrativo.	59
Tabela 15 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Direito.	59
Tabela 16 – Dados climáticos contidos no arquivo climático.	61
Tabela 17 – Localização geográfica das cidades.	62
Tabela 18 – Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo seco.	63
Tabela 19 – Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo úmido.	63
Tabela 20 – Dia de projeto de verão para teor de umidade.	64
Tabela 21 – Dia de projeto de inverno para céu limpo.	64
Tabela 22 – Dia de projeto de inverno para nublado.	64
Tabela 23 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Esquerdo.	65
Tabela 24 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Administrativo.	65
Tabela 25 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Direito.	66
Tabela 26 – Tabela das propriedades óticas das composições de vidros com películas.	69
Tabela 27 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Esquerdo.	72
Tabela 28 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Administrativo.	72
Tabela 29 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Esquerdo.	73
Tabela 30 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Esquerdo.	76
Tabela 31 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Administrativo.	77
Tabela 32 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Direito.	77
Tabela 33 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Esquerdo.	81
Tabela 34 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Administrativo.	81
Tabela 35 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Direito.	82

Tabela 36 – Especificações das máquinas selecionadas..... 82

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMY – *Actual Meteorological Year* ou Ano Meteorológico Real
ASHRAE – *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* ou Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento.
CAD – *Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador
CondFD – Condução por Diferenças Finitas *Conduction Finite Difference*
CTF – *Conduction Transfer Function* Função de Transferência por Condução
DOE – *Department of Energy* ou Departamento de Energia
EMPD – *Effective Misiture Penetration Depth* Modelo da Profundidade Efetiva de Penetração de Umidade
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EUA – Estados unidos da América
HVAC – *Heating, Ventilation and Air Condioning* ou Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado.
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LED – *Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz
PampaTec – Parque Cientifico e Tecnológico do Pampa
PMV – *Predicted Mean Vote* ou Voto Médio Previsto
PPD – *Predicted Percentage Dissatisfied* ou Percentagem Prevista Insatisfeita
TMY – *Typical Meteorological Year* ou Ano Meteorológico Típico
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Coeficiente de ajuste do cálculo de infiltração	[-]
A_{janela}	Área efetiva da janela	[m ²]
A_{si}	Área da superfície “i” da zona	[m ²]
B	Coeficiente de ajuste do cálculo de infiltração	[-]
C	Coeficiente de ajuste do cálculo de infiltração	[-]
C_p	Calor específico do ar	[J/kg.K]
$C_{p,m}$	Calor específico do material	[J/kg.K]
C_T	Calor sensível	[J/kg.K]
C_z	Capacidade térmica do ar da zona	[J/K]
D	Coeficiente de ajuste do cálculo de infiltração	[-]
d_m	Espessura do material	[mm]
D_{vent}	Direção coincidente do vento predominante	[°]
$E_{t,b}$	Irradiação direta	[W/m ²]
$E_{t,d}$	Irradiação difusa	[W/m ²]
$E_{t,r}$	Irradiação refletida	[W/m ²]
h_{si}	Coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície “i” da zona	[W/m ² .K]
I	Troca de ar por hora ou taxa de infiltração de ar	[1/h]
I_{ACD}	Coeficiente de atenuação solar difusa	[-]
$I_{AC}(\theta, \Omega)$	Coeficiente de atenuação solar interno	[-]
$I_{projeto}$	Taxa de infiltração de ar definida para a zona térmica	[1/h]
k_m	Condutividade térmica do material	[W/m. K]
k_v	Condutividade térmica do vidro	[W/m.K]
\dot{m}_i	Vazão mássica de ar da zona “i”	[kg/s]
\dot{m}_{inf}	Vazão mássica de ar de infiltração	[kg/s]
\dot{m}_{sys}	Vazão mássica de ar fornecida pelo sistema de ar-condicionado à zona	[kg/s]
MT_{bu}	Média coincidente da temperatura de bulbo úmido	[°C]

MT_{bs}	Média coincidente da temperatura de bulbo seco	[°C]
\dot{Q}_{janela}	Transferência de calor através das janelas	[W]
\dot{Q}_{sys}	Potência necessária de saída do sistema de ar para suprir a condição da zona	[W]
q_b''	Transferência de calor por radiação direta	[W/m ²]
q_c''	Transferência de calor condutiva	[W/m ²]
$q''_{conv,ext}$	Fluxo de calor por convecção com o ar exterior	[W/m ²]
$q''_{conv,int}$	Fluxo de calor por convecção do ar da zona	[W/m ²]
q_d''	Transferência de calor por radiação difusa	[W/m ²]
q''_{kint}	Fluxo de calor por condução na superfície interna	[W/m ²]
q''_{kext}	Fluxo de calor por condução na superfície externa	[W/m ²]
q''_{LWR}	Fluxo de calor por radiação de onda longa com o ar ambiente	[W/m ²]
q''_{LWS}	Fluxo de calor radiante de ondas longas dos equipamentos internos a zona	[W/m ²]
q''_{LWX}	Fluxo de calor radiante de ondas longas entre as superfícies	[W/m ²]
q''_{sol}	Fluxo de calor por radiação solar transmitida, absorvida pela superfície	[W/m ²]
q''_{sw}	Fluxo de calor radiante de ondas curtas proveniente da iluminação	[W/m ²]
q''_{asol}	Fluxo de calor por radiação solar direta e difusa absorvida	[W/m ²]
R_{bs}	Refletância solar na direção normal à superfície interna do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar	[-]
R_{bv}	Refletância visível na direção normal à superfície interna do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano	[-]
R_{fs}	Refletância solar na direção normal à superfície externa do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar	[-]
R_{fv}	Refletância visível na direção normal à superfície externa do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano	[-]
$(SHGC)_D$	Coeficiente de ganho solar difuso	[-]

$SHGC(\theta)$	Coeficiente de ganho solar em função do ângulo de incidência θ	[-]
$T_{air,int}$	Temperatura do ar interior	[°C]
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco	[°C]
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido	[°C]
T_{ext}	Temperatura na superfície externa	[°C]
T_{ins}	Temperatura do ar de insuflamento do sistema de ar-condicionado entrando na zona	[°C]
T_{ir}	Transmitância na direção normal à superfície do vidro integrado em toda a faixa do comprimento de onda longa do espectro solar	[-]
T_{int}	Temperatura na superfície interna	[°C]
T_o	Temperatura de orvalho	[°C]
T_s	Transmitância solar na direção normal à superfície do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar	[-]
T_{si}	Temperatura da superfície “i” da zona	[°C]
T_v	Transmitância visível na direção normal à superfície do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano	[-]
T_z	Temperatura média do ar da zona	[°C]
T_{zi}	Temperatura média do ar da zona “i”	[°C]
T_{∞}	Temperatura do ar exterior	[°C]
U_{med}	Média coincidente da velocidade do vento	[m/s]
U_{janela}	Coeficiente global de transferência de calor por condução na janela	[W/m ² .K]
U_{vent}	Velocidade do vento	[m/s]
X_j	Coeficiente exterior da CTF	[W/(m ² .°C)]
Y_j	Coeficiente cruzado da CTF	[W/(m ² .°C)]
W	Teor de umidade do ar	[g _{VA} /kg _{AS}]
Z_j	Coeficiente interno da CTF	[W/(m ² .°C)]
α_s	Absortividade da radiação solar integrado em todo espectro do comprimento de onda	[-]
α_t	Absortividade da radiação térmica de onda longa	[-]
α_v	Absortividade da radiação solar integrado no espectro de comprimento de onda visível	[-]

ΔT_{bs}	Amplitude de variação da temperatura de bulbo seco	[°C]
ε_b	Emissividade hemisférica da superfície interna do vidro no comprimento de onda longa	[-]
ε_f	Emissividade hemisférica da superfície externa do vidro no comprimento de onda longa	[-]
ρ_{air}	Densidade do ar na zona	[kg/m ³]
ρ_m	Densidade do material	[kg/m ³]
ϕ_j	Coeficiente de fluxo da CTF	[-]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Definição do Problema	23
1.2	Objetivos	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	Definições	25
2.1.1	Conforto Térmico	25
2.1.2	Eficiência Energética	27
2.2	Trabalhos Relacionados.....	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	Ferramentas Computacionais	31
3.1.1	Google Sketchup	31
3.1.2	Open Studio.....	31
3.1.3	EnergyPlus	31
4	EQUACIONAMENTO E BALANÇO DE ENERGIA	32
4.1	Balanço de Energia das Zonas Térmicas.....	32
4.2	Condução de Calor Através de Superfícies Opacas	35
4.3	Balanço de Energia na Superfície Externa da Zona Térmica.....	36
4.4	Balanço de Energia na Superfície Interna da Zona Térmica.....	37
4.5	Fluxo de Calor Através de Superfícies Translúcidas.....	38
4.6	Infiltração	39
5	EDIFICAÇÕES.....	40
5.1	Zoneamento Térmico	42
5.1.1	Prédio Administrativo.....	43
5.1.2	Prédio Esquerdo	45
5.1.3	Prédio Direito	47
5.2	Elementos Construtivos	49
5.3	Janelas e Portas	51
5.4	Cargas Internas.....	55
5.4.1	Pessoas.....	55
5.4.2	Equipamentos.....	57
5.4.3	Iluminação	58
5.5	Sombreamento Externo	59
6	SIMULAÇÕES.....	60
6.1	Arquivo Climático	60

6.2	Dias de Projeto.....	61
7	ANÁLISE E DISCUSSÕES	65
7.1	Demanda de Refrigeração no Estado Atual	65
7.2	Proposta de Películas nos Vidros	68
7.3	Proposta de Iluminação com LED	73
7.4	Máquinas Seleccionadas	78
7.5	Condições de Temperatura e Umidade para as Zonas Térmicas	82
7.5.1	Temperatura Média do Ar da Zona.....	82
7.5.2	Temperatura Operativa.....	85
7.5.3	Umidade Relativa do Ar da Zona.....	88
7.6	Consumo de Energia Mensal	90
8	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS.....	98
	APÊNDICES.....	
101	
	A – Demanda de Potência de Refrigeração.....	101
	B – Temperatura do Ar das Zonas.....	107
	C – Temperatura Operativa das Zonas.....	113
	D – Umidade Relativa do Ar das Zonas.....	119
	ANEXOS.....	125
	A – Projeto de Implantação.....	125
	B – Projeto Arquitetônico.....	126
	C – Projeto Elétrico.....	127

1 INTRODUÇÃO

Resultado de má gestão dos órgãos públicos, a crise energética do Brasil causa transtornos recorrentes à população, seja por quadros de falta de energia, como o ocorrido no apagão de 2001, ou por grandes aumentos das tarifas, como ocorridos no ano de 2015, o que comprova as deficiências no sistema de distribuição e armazenamento das reservas de energia. Atualmente a importância da elaboração de projetos mais eficientes no quesito consumo de energia não se trata apenas de uma questão ambiental, mas diretamente de questões econômicas. Estes fatores associados às reduções nos orçamentos das instituições públicas acabam por dificultar a gestão dos recursos financeiros.

1.1 Definição do Problema

O Parque Científico e Tecnológico do Pampa (PampaTec) consiste em uma construção de cunho público, a qual passou por várias etapas burocráticas até a sua concepção, processo que levou alguns anos, no entanto o projeto inicial não sofreu grandes alterações em se tratando de considerar os parâmetros de eficiência energética para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a qual se tornou obrigatório segundo publicação no Diário Oficial da União pela Secretaria de Logística e Tecnologia (normativa IN02/2014). Ressalta-se neste período a existência de apenas 25 edificações “etiquetadas” dentre as quais 5 pertencem a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde, não por coincidência, encontra-se o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), o qual é referencial em periódicos e publicações no tema.

Este trabalho visa à avaliação do desempenho térmico e energético atual das edificações constituintes do PampaTec, tendo como referência as normas da ASHRAE (Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento), as quais constituem as bases dos métodos de simulação aplicados neste estudo.

Salientam-se alguns fatores bases para a realização deste estudo:

- Grande área de fachada envidraçada constituída de vidros simples: fator que permite grande entrada de radiação solar e aprisionamento das ondas no espectro infravermelho emitidas pelos objetos e corpos presentes no ambiente, ocasionando uma elevada temperatura interna;
- Potência de iluminação superdimensionada: fator que amplia o consumo de energia e auxilia no aumento da temperatura interna dos ambientes.
- Incorreto dimensionamento dos equipamentos de Refrigeração: fator que impossibilita a obtenção de ambiente agradável, visto que as máquinas não conseguem suprir a demanda térmica do ambiente;
- O compilado destes fatores acaba por tornar o Parque Científico e Tecnológico do Pampa uma construção com elevado grau de desconforto térmico e grande consumo de energia.

1.2 Objetivos

Embasado nos fatores supracitados este trabalho visa avaliar as edificações que constituem o Parque Científico e Tecnológico do Pampa, o qual tem servido de incubadora de empresas e modelo regional, propondo melhorias físicas e no sistema de refrigeração. Como resultados esperados, buscam-se obter um melhor conforto térmico para seus ocupantes juntamente com um menor consumo de energia elétrica em comparação com a configuração atual do parque. As etapas de investigação são as seguintes:

- Avaliar as condições atuais das edificações constituintes do Parque Científico e Tecnológico do Pampa;
- Propor melhorias físicas/estruturais eficientes, viáveis economicamente e de fácil alteração;
- Avaliar possibilidade de sistema de iluminação por LED (Diodo Emissor de Luz ou *Light Emitting Diode*), com finalidade de economia e redução das cargas térmicas internas;
- Selecionar máquinas que atendam a demanda de potência de refrigeração de cada ambiente e que sejam qualificadas com selo A de eficiência energética,

de acordo com o índice disponibilizado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), mantendo o mesmo sistema de refrigeração atual das edificações, isto é, Split.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor entendimento dos tópicos a serem avaliados, a revisão bibliográfica encontra-se subdividida em: Definições e trabalhos relacionados.

2.1 Definições

Definem-se neste tópico os conceitos sobre Conforto Térmico e Eficiência Energética.

2.1.1 Conforto Térmico

Segundo ASHRAE (2010) conforto térmico pode ser definido como a condição em que a mente expressa satisfação com relação ao ambiente térmico.

Ruas (1999) define conforto térmico como sendo as condições do ambiente que propiciam bem-estar ao maior número possível de pessoas. Duas condições são necessárias para que se obtenha o conforto térmico: equilíbrio térmico estacionário entre corpo e ambiente e sudorese regulamentar baixa. Isso implica que o calor armazenado pela superfície da pele e o interior do corpo sejam nulos e que os níveis de transpiração do indivíduo estejam baixos (ASHRAE 2010). Salienta-se que estes fatores são condições necessárias para o conforto térmico. No entanto, devido ao caráter fisiopsicológico, um indivíduo pode estar insatisfeito com o ambiente mesmo que as duas condições necessárias sejam atendidas.

Referente a trabalhos em ambientes fechados, o conforto térmico é normalizado sob a norma ISO 7730 (2005a), a qual toma como base o método PMV (Voto Médio Previsto ou *Predicted Mean Vote*) descrito por Fanger (1970). Este método considera tanto variáveis ambientais, como velocidade, temperatura e umidade do ar, bem como

variáveis subjetivas como intensidade da atividade e vestuário, e qualifica o ambiente pelo índice PPD (Percentagem Prevista Insatisfeita ou *Predicted Percentage Dissatisfied*).

ASHRAE (2010) define ainda os intervalos aceitáveis de temperatura e umidade operacionais para pessoas em roupas típicas de verão e inverno, considerando atividade predominantemente sedentária. Estes intervalos estão ilustrados na figura 1.

A temperatura operativa consiste em uma média entre a temperatura do ar da zona e a temperatura média radiante, ponderadas pelos seus respectivos coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação linearizados.

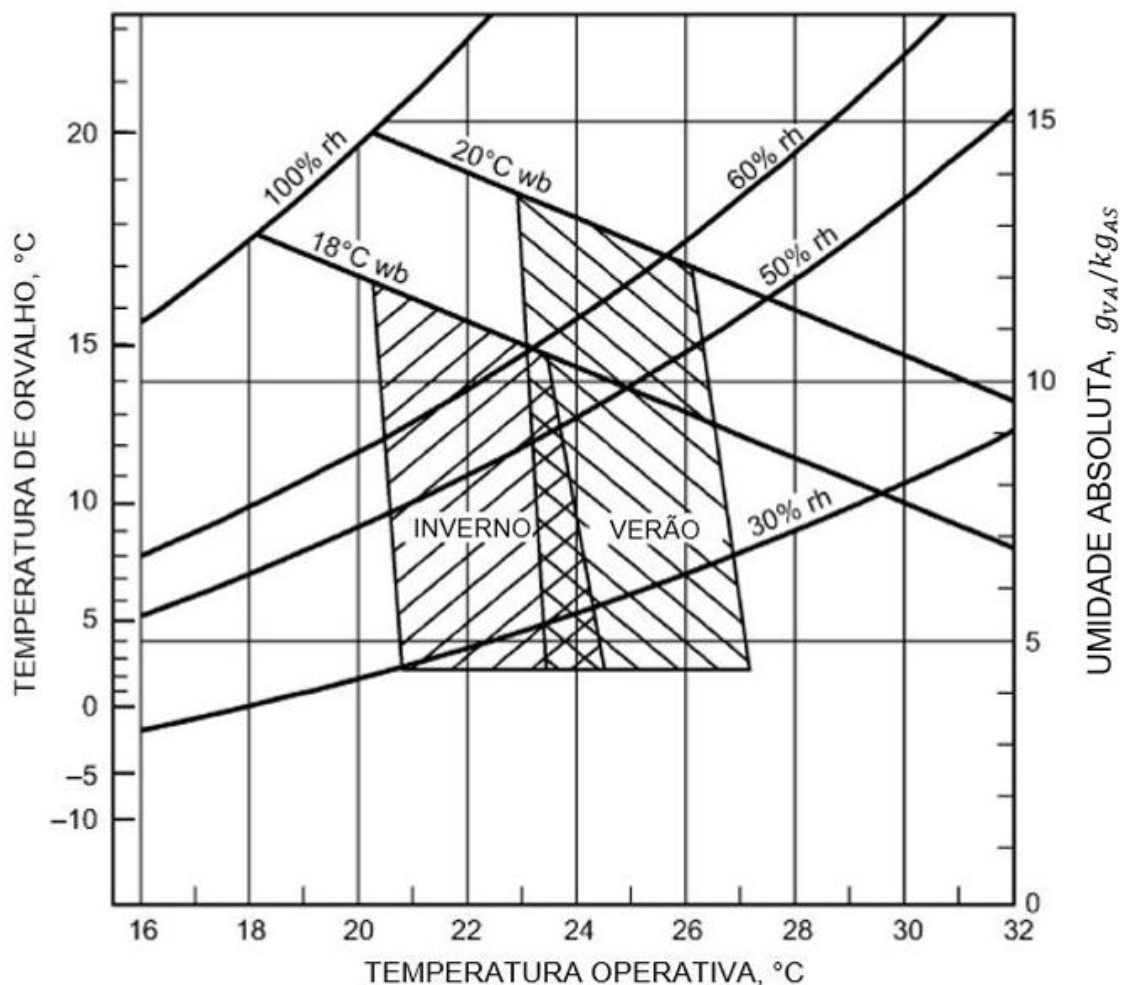
A temperatura média radiante consiste na temperatura das superfícies que delimitam a zona térmica, portanto a temperatura operativa está diretamente ligada aos elementos construtivos da edificação bem com à transferência de calor através dos mesmos.

Já a umidade está diretamente relacionada ao conforto térmico, pois para valores elevados a umidade dificulta a transpiração, dificultando assim a redução da temperatura corporal. Para valores demasiadamente baixos, a umidade pode secar a pele, mucosas e levar a queixas sobre nariz seco, garganta, olhos e pele, quando o ponto de orvalho é menor que 0 °C (ASHRAE 2005).

Este parâmetro é influenciado pela temperatura, pois um aumento da temperatura do ar faz com que mais vapor d'água possa estar em suspensão em um mesmo volume. Deste modo a porcentagem de umidade em suspensão diminui, reduzindo a temperatura e a umidade relativa tende a aumentar, pois menos massa de vapor d'água pode estar em suspensão (Ruas, A.C. 1999).

Em suma, para diminuir a umidade relativa, deve-se reduzir a quantidade de vapor de água suspensa no ar ou aumentar a temperatura. Já para um aumento da umidade relativa, pode-se efetuar uma redução na temperatura ou aumentar a quantidade de vapor d'água em suspensão no ar ambiente.

Figura 1 – Zonas de conforto térmico para verão e inverno.



Fonte: Adaptado de ASHRAE Handbook (2005).

2.1.2 Eficiência Energética

Ser eficiente consiste em obter os resultados esperados com o menor consumo, seja ele de tempo, recursos ou energia.

Segundo Martins (1999) eficiência energética consiste no conjunto de práticas e políticas, as quais reduzam os custos com energia e/ou gerem um aumento na quantidade de energia oferecida sem necessidade de alterações nos processos de geração. Esta definição compreende todos os processos, desde a geração até o gerenciamento do consumo.

Para Lamberts et al (1997) um edifício torna-se mais eficiente em termos energéticos quando consegue apresentar as mesmas ou melhores condições ambientais para seus ocupantes com um consumo de energia menor. A definição de

Lamberts vai de encontro à posição de Marques et al (2006) sobre conservação e racionamento de energia, em que conservação consiste no uso eficiente enquanto racionamento é definido como uma medida que prejudica a qualidade de vida dos indivíduos, sendo esta aplicada como medida desesperada.

2.2 Trabalhos Relacionados

Carotenuto (2009) constatou que em se tratando de gasto de energia em uma edificação, os equipamentos elétricos, a iluminação interna e o sistema de ar condicionado são os principais consumidores, tornando-se assim variáveis extremamente influentes no resultado desta forma de simulação computacional.

Segundo Müller (2013) a utilização de películas e vidros duplos em edificações com fachadas envidraçadas reduz consideravelmente o consumo do sistema de refrigeração para resfriamento; em seu estudo, constatou uma redução de 50% nestas condições.

Schwieder (2004) avaliou o consumo elétrico anual de uma edificação em função da potência de refrigeração necessária para duas configurações de envidraçamento: vidros simples de transmitância nominal de 90% e vidros simples com aplicação de películas de transmitância nominal de 10%. Ao analisar a viabilidade econômica, concluiu que a instalação do sistema de refrigeração dimensionado para a configuração de vidros com películas, juntamente com os custos de aplicação das películas, seria 31% menor que os custos de instalação do sistema de refrigeração dimensionado para o caso de vidros simples.

Stein (2011) analisou o desempenho térmico e energético de uma residência localizada na cidade de Porto Alegre com intuito de reduzir o consumo energético bem como melhorar o conforto térmico. Vidros de alto desempenho associados a uma mudança no sistema de refrigeração foram sugeridos como melhorias para tais objetivos.

Pereira (2005) em seu estudo além de avaliar fachadas envidraçadas para 7 composições diferentes de vidros com películas, constatou que quanto maior a área envidraçada da fachada da edificação, maior o desconforto térmico pelo método PMV. Ele listou ainda, de acordo com sua influência no consumo energético, as variáveis

envolvidas na determinação da carga térmica de refrigeração: localização geográfica, área envidraçada das fachadas, tipo de vidro, orientação e iluminação.

Pietzch, D.A. (2012), elaborou propostas para redução do consumo de energia elétrica anual, dentre elas, simulou iluminação contínua utilizando lâmpadas de LED em comparativo com lâmpadas fluorescentes, simulação que reduziu o consumo de energia elétrica para iluminação interna em 40% e em 13% para o sistema de refrigeração.

Rhodes et al (2015) avaliaram a precisão das simulações através do software EnergyPlus, analisando o consumo energético em 54 casas na cidade de Austin, EUA. Em comparação com medições reais constatou-se uma diferença no consumo anual acumulado de 2,4% e 9% usando os anos meteorológicos real (AMY) e típico (TMY), respectivamente. A diferença no consumo ocorre, porque os dados do ano meteorológico típico (TMY) são gerados através de médias ponderadas das temperaturas horárias num período de 15 a 30 anos, enquanto que os dados do arquivo meteorológico real (AMY) são gerados apenas ao ano mais próximo ao estudo ou o ano atual no caso de medições experimentais. Este estudo constatou também que ao usar uma geometria simplificada da edificação os resultados finais não apresentaram variação considerável.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo está sintetizada no fluxograma apresentado na figura 2, no qual as linhas azuis representam o fluxo natural, as linhas pretas as etapas do processo e a linha vermelha o processo de realimentação para obtenção dos resultados finais.

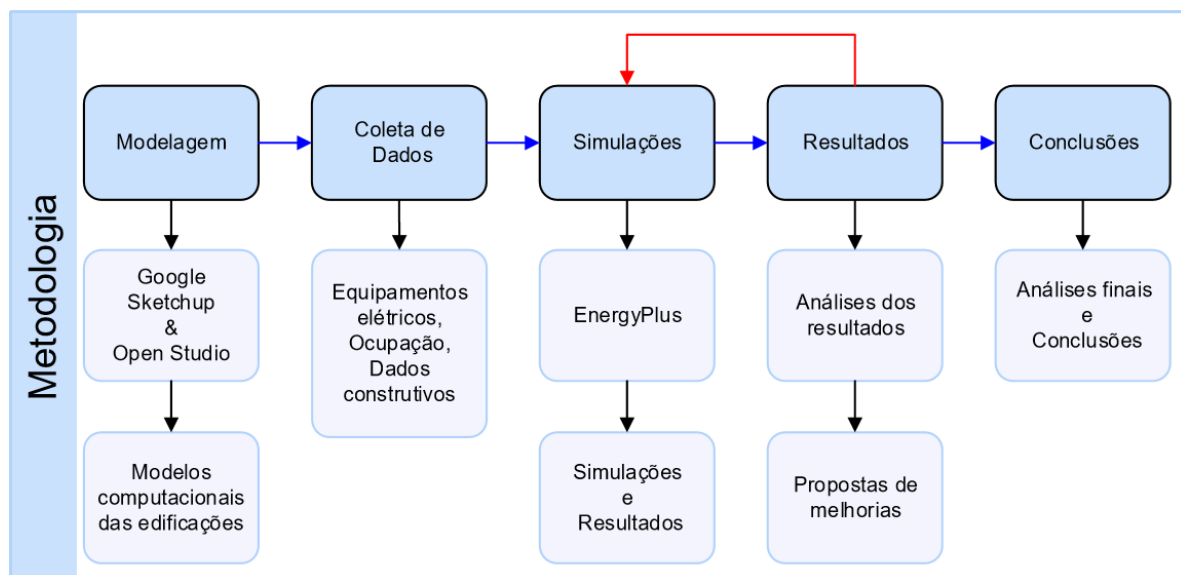
Esta sequência de procedimentos segue os mesmos conceitos das metodologias aplicadas na constituição dos trabalhos de referência, a qual está estruturada em cima de três softwares gratuitos: Google Sketchup, Open Studio e EnergyPlus; com suas versões e finalidades descritas no tópico 3.1.

O desenvolvimento do estudo consiste em:

- Modelar a edificação subdividindo-a em zonas térmicas utilizando o Google Sketchup, com interface do *plug-in* Open Studio.

- Fazer o levantamento dos equipamentos eletrônicos instalados e ocupação referente a cada zona, para efetuar as simulações das condições atuais através do EnergyPlus em autosize, que consiste no dimensionamento das potências de refrigeração necessárias para obtenção do conforto térmico, realizado pelo EnergyPlus.
- Analisar os resultados das edificações em estado atual e em autosize do estado atual.
- Elaborar as propostas de melhorias, simulando a influência de tipos variados de películas aplicadas nos vidros e mudança da iluminação de fluorescente para LED. As simulações das propostas são realizadas em autosize.
- Selecionar equipamentos adequados à demanda de potência de refrigeração de cada ambiente, que juntamente com as propostas possam atender os parâmetros de conforto térmico e reduzir o consumo de energia elétrica para as edificações. Comprovar através das simulações que os objetivos, descritos anteriormente, foram alcançados.

Figura 2 – Fluxograma apresentando a metodologia aplicada ao estudo.



Fonte: Autoria própria.

3.1 Ferramentas Computacionais

Neste tópico serão apresentadas as versões e algumas informações pertinentes aos softwares utilizados na realização deste estudo. Os tópicos 3.1.1 a 3.1.3 referem-se ao Google Sketchup, Open Studio e EnergyPlus, respectivamente.

3.1.1 Google Sketchup

Software da classe CAD (*Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador), o Google Sketchup consiste em um software de modelagem em 3D de uso fácil e intuitivo. Desenvolvido pela @Last Software e posteriormente adquirido pela Google, difundiu-se pela sua facilidade de uso e grande quantidade componentes opcionais. Utilizado neste estudo sob a versão 8.0.3117 lançada no ano de 2012 a qual se encontra disponível gratuitamente.

3.1.2 Open Studio

Plug-in disponibilizado gratuitamente pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE), compatível com plataformas do Windows, Mac e Linux, o qual faz a interface entre os softwares Google Sketchup e EnergyPlus. Este *plug-in* permite que o usuário modele de forma fácil e mais detalhada as edificações para simulação no EnergyPlus, pois permite que as mesmas sejam modeladas utilizando as ferramentas de modelagem do Google Sketchup. A versão utilizada, a qual é compatível com a versão 8.0.3117 do Google Sketchup, foi a versão 1.0.11.

3.1.3 EnergyPlus

É um software desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) e amplamente utilizado no campo de eficiência energética e análise de conforto térmico em edificações, pois é capaz de simular a edificação como um todo, analisando todas as zonas térmicas constituintes simultaneamente, podendo levar em conta parâmetros

como iluminação, aquecimento e refrigeração, consumo de água, tempos de utilização entre outros. A versão utilizada neste estudo foi a versão 8.6.0 disponibilizada em 2016.

Consiste em um software de análise energética e de cargas térmicas, o qual realiza as simulações através do balanço de energia entre as zonas térmicas previamente definidas. Estas simulações são realizadas considerando a transferência de calor em regime transiente e levam em consideração as parcelas de cargas térmicas dos ambientes, como por exemplo, as cargas internas geradas por equipamentos e iluminação.

As simulações podem ser desenvolvidas sobre três algoritmos distintos (EnergyPlus Engineering Reference, 2016): Função de Transferência por Condução (CTF – *Conduction Transfer Function*), Condução por Diferenças Finitas (CondFD – *Conduction Finite Difference*) e Modelo da Profundidade Efetiva de Penetração de Umidade (EMPD – *Effective Moisture Penetration Depth*).

Os algoritmos CTF e CondFD possuem considerações de análise semelhantes, pois ambos levam em conta somente o calor sensível, desconsiderando a difusão de umidade nos elementos construtivos. Já o algoritmo EMPD além de considerar o calor sensível, leva em conta a umidade difundida através das superfícies constituintes da zona térmica, sendo que este método necessita de dados sobre as características de umidade dos materiais. No presente trabalho optou-se pela utilização do algoritmo CTF visto que foi utilizado na maioria dos trabalhos de revisão.

4 EQUACIONAMENTO E BALANÇO DE ENERGIA

Neste capítulo será apresentado um compilado dos equacionamentos utilizados pelo EnergyPlus segundo manual de engenharia (EnergyPlus Engineering Reference, 2016).

4.1 Balanço de Energia das Zonas Térmicas

Uma zona térmica, conforme mostrado na figura 3, para o software EnergyPlus, consiste em um único volume de controle de ar, o qual possui uma temperatura

uniforme em toda sua extensão. Para cada zona térmica considera-se um sistema de controle térmico independente e a análise da transferência de calor em regime transiente através das equações 1 a 3.

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

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{ins} - T_z) \quad (2)$$

$$C_z = \rho_{air} C_p C_T \quad (3)$$

Onde:

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$: Somatório das cargas convectivas internas [W];

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_{si} A_{si} (T_{si} - T_z)$: Transferência de calor convectivo através das superfícies da zona [W];

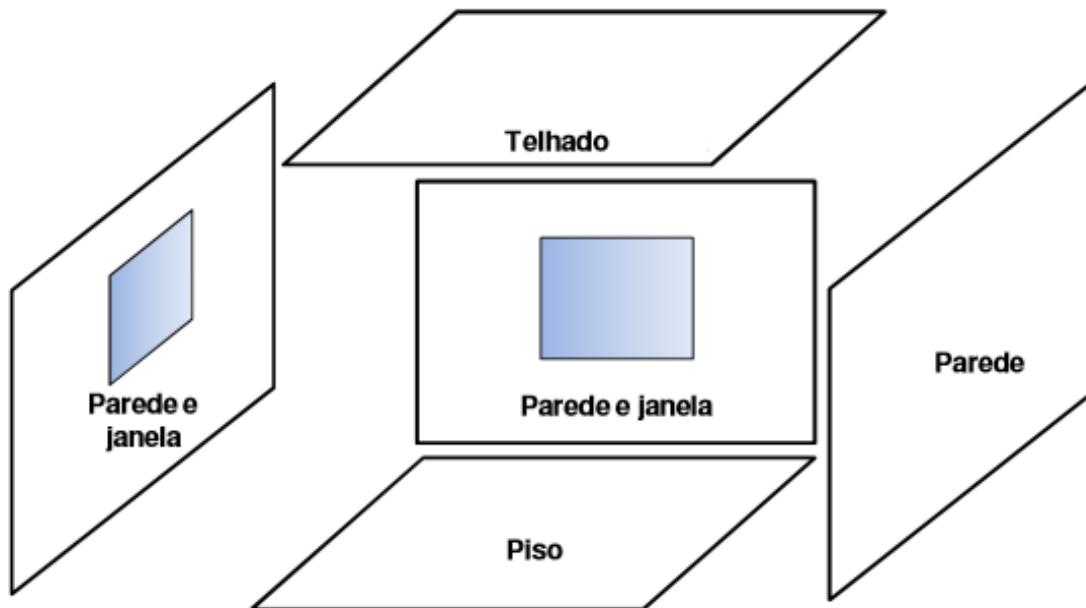
$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$: Transferência de calor devido à mistura de ar entre as zonas [W];

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$: Transferência de calor devido à infiltração de ar externo [W];

\dot{Q}_{sys} : Potência necessária de saída do sistema de ar para suprir a condição da zona [W];

$C_z \frac{dT_z}{dt}$: Energia armazenada no ar da zona [W].

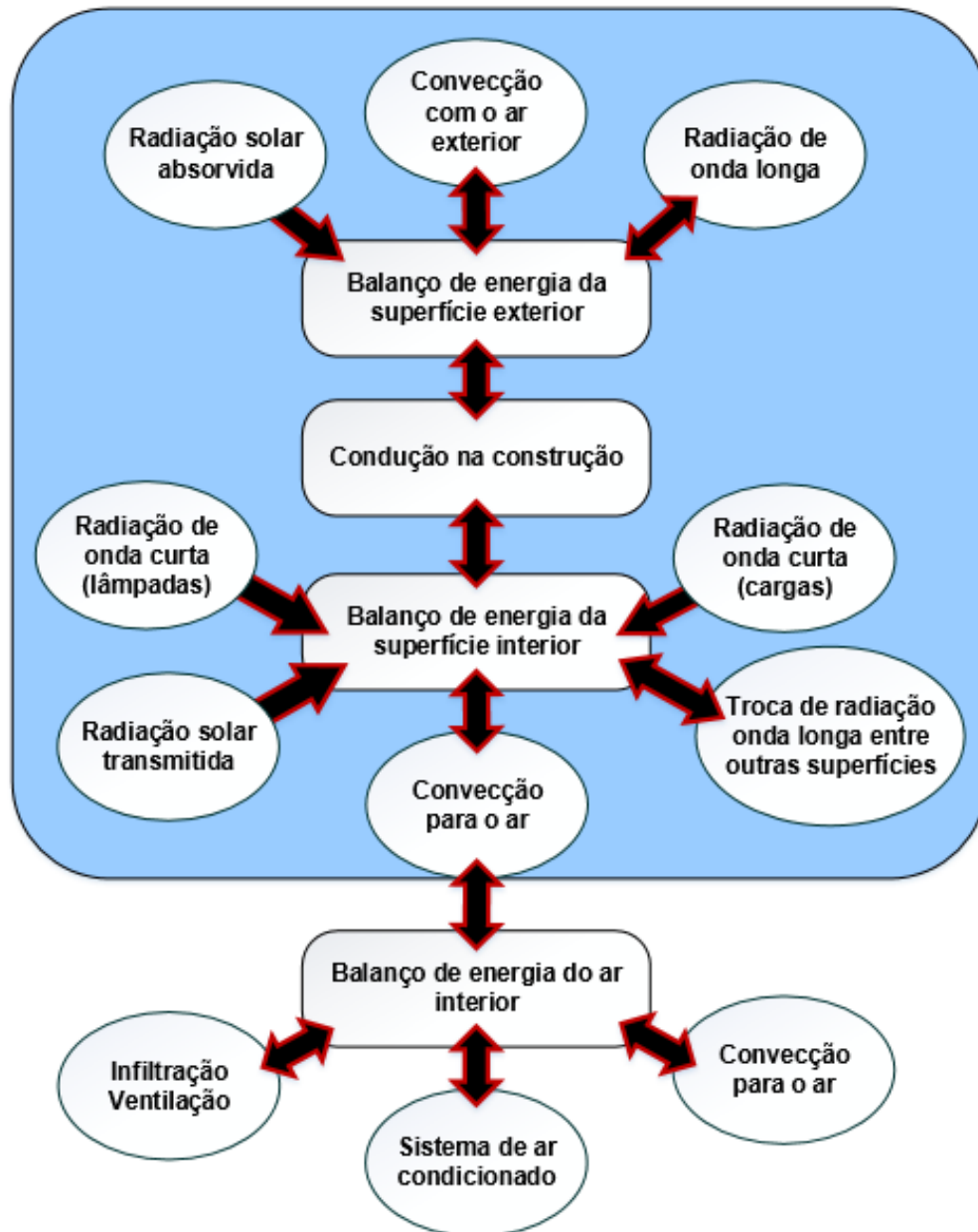
Figura 3 – Representação da zona térmica.



Fonte: Adaptado de Piccoli Junior, L. A. (2012).

O procedimento de análise das zonas térmicas realizado pelo EnergyPlus é apresentado na figura 4.

Figura 4 – Processos do balanço de energia na zona térmica.



Fonte: Adaptado de Piccoli Junior, L. A. (2012).

4.2 Condução de Calor Através de Superfícies Opacas

A determinação do fluxo de calor através de superfícies opacas utilizado pelo EnergyPlus é dada através de um método iterativo que envolve as temperaturas internas e externas da superfície analisada em função do tempo. As equações básicas para obtenção dos fluxos interno (Eq. 4) e externo (Eq. 5) de calor são apresentadas a seguir.

$$q''_{kint}(t) = -Z_o T_{int,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{int,t-j\delta} + Y_o T_{ext,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{ext,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{kint,t-j\delta} \quad (4)$$

$$q''_{kext}(t) = -Y_o T_{int,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{int,t-j\delta} + X_o T_{ext,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{ext,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{kext,t-j\delta} \quad (5)$$

Onde:

X_j : Coeficiente exterior da CTF [W/m².°C];

Y_j : Coeficiente cruzado da CTF [W/m².°C];

Z_j : Coeficiente interno da CTF [W/m².°C];

ϕ_j : Coeficiente de fluxo da CTF [adimensional];

T_{ext} : Temperatura na superfície externa [°C];

T_{int} : Temperatura na superfície interna [°C];

q''_{kext} : Fluxo de calor por condução na superfície externa [W/m²];

q''_{kint} : Fluxo de calor por condução na superfície interna [W/m²].

4.3 Balanço de Energia na Superfície Externa da Zona Térmica

O balanço de energia na superfície externa da zona térmica (Eq. 6) é realizado através do somatório de todas as parcelas de energia sobre a superfície, conforme ilustrado na figura 5.

Figura 5 – Balanço de energia na superfície externa.



Fonte: Adaptado de EnergyPlus Engineering Reference.

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv,ext} - q''_{kext} = 0 \quad (6)$$

Onde:

q''_{asol} : Fluxo de calor por radiação solar direta e difusa absorvida [W/m²];

q''_{LWR} : Fluxo de calor por radiação de onda longa com o ar ambiente [W/m²];

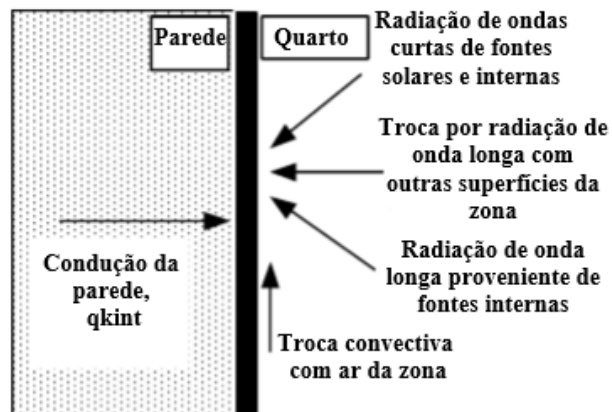
$q''_{conv,ext}$: Fluxo de calor por convecção com o ar exterior [W/m²];

q''_{kext} : Fluxo de calor por condução na superfície externa [W/m²].

4.4 Balanço de Energia na Superfície Interna da Zona Térmica

O balanço de energia na superfície interna da zona térmica (Eq. 7) é realizado através do somatório de todas as parcelas de energia sobre a superfície, conforme mostrado na figura 6.

Figura 6 – Balanço de energia superfície interna.



Fonte: Adaptado de EnergyPlus Engineering Reference.

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{kint} + q''_{sol} + q''_{conv,int} = 0 \quad (7)$$

Onde:

q''_{sol} : Fluxo de calor por radiação solar transmitida, absorvida pela superfície [W/m²];

q''_{LWX} : Fluxo de calor radiante de ondas longas dos equipamentos internos a zona [W/m²];

$q''_{conv,int}$: Fluxo de calor por convecção do ar da zona [W/m²];

q''_{kint} : Fluxo de calor por condução na superfície interna [W/m²];

q''_{LWS} : Fluxo de calor radiante de ondas longas dos equipamentos internos a zona [W/m²];

q''_{SW} : Fluxo de calor radiante de ondas curtas proveniente da iluminação [W/m²].

4.5 Fluxo de Calor Através de Superfícies Translúcidas

A transferência de calor através de superfícies translúcidas (Eq. 9) é obtida fazendo-se a soma do fluxo de calor entrando por condução (Eq. 10) e por radiação direta (Eq. 11) e difusa (Eq. 12).

$$\dot{Q}_{janela} = q_b'' + q_d'' + q_c'' \quad (9)$$

$$q_c'' = U_{janela} A_{janela} (T_{\infty} - T_{air,int}) \quad (10)$$

$$q_b'' = A_{janela} E_{t,b} SHGC(\theta) I_{AC}(\theta, \Omega) \quad (11)$$

$$q_d'' = A_{janela} (E_{t,d} + E_{t,r}) (SHGC)_D I_{ACD} \quad (12)$$

Onde:

q_c'' : Transferência de calor por condução [W/m²];

q_b'' : Transferência de calor por radiação direta [W/m²];

q_d'' : Transferência de calor por radiação difusa [W/m²];

A_{janela} : Área da janela [m²];

$E_{t,b}$: Irradiação direta [W/m²];

$E_{t,r}$: Irradiação refletida [W/m²];

$E_{t,d}$: Irradiação difusa [W/m²];

$(SHGC)_D$: Coeficiente de ganho solar difuso [-];

$SHGC(\theta)$: Coeficiente de ganho solar em função do ângulo de incidência θ [-];

U_{janela} : Coeficiente global de transferência de calor por condução na janela [W/m².K];

$I_{AC}(\theta, \Omega)$: Coeficiente de atenuação solar interno [-];

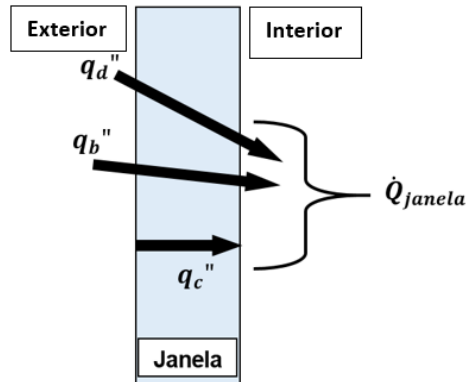
I_{ACD} : Coeficiente de atenuação solar difusa [-];

$T_{air,int}$: Temperatura do ar interior [°C];

T_{∞} : Temperatura do ar exterior [°C].

A figura 7 ilustra a transferência de calor através de superfícies translúcidas.

Figura 7 – Fluxo de calor através de superfícies translúcidas.



Fonte: Autoria própria.

4.6 Infiltração

A infiltração para as zonas condicionadas foi definida como zero durante o período de ocupação, visto que há um aumento de pressão interna devido ao resfriamento do ar interno.

A taxa de infiltração ou troca de ar por hora é a razão entre a vazão volumétrica de ar entrando no ambiente, pelo volume de ar interno do mesmo (Eq. 13).

$$I = \left(\frac{\dot{V}}{V} \right) \cdot 3600 \quad (13)$$

Onde:

I : Troca de ar por hora ou taxa de infiltração de ar [1/h];

\dot{V} : Vazão volumétrica de ar [m³/s];

V : Volume interno da zona térmica [m³].

O EnergyPlus usa a equação 14 para calcular a infiltração nas zonas térmicas das edificações.

$$I = (I_{projeto}) \cdot (F_I) \cdot [A + B |T_{air,int} - T_{bs}| + C(U_{vent}) + D(U_{vent})^2] \quad (14)$$

Onde:

$I_{projeto}$: Taxa de infiltração de ar definida para a zona térmica [1/h];

F_I : Fração da taxa de infiltração de ar de projeto [-];

A, B, C e D : Coeficientes de ajuste do cálculo de infiltração [-].

Como padrão o EnergyPlus utiliza ($A = 1$; $B = 0$; $C = 0$; $D = 0$) o que resulta em uma taxa de troca de ar constante, independentemente das condições.

Para as zonas sem ar condicionado, definiram-se em 1,0 e 0,5 trocas de ar por hora para as estações de verão e inverno respectivamente (Carotenuto, 2009).

Fora do horário de ocupação foi definida a infiltração em 0,5 trocas de ar por hora para todas as zonas térmicas, considerando a construção nova e bem vedada com relação à infiltração do ar externo.

A tabela 1 apresenta os valores de infiltração para zonas condicionadas e não condicionadas em função da estação do ano, para ambos os períodos, ocupação e desocupação das edificações.

Tabela 1 – Infiltração de ar por estação nas zonas condicionadas e não condicionadas.

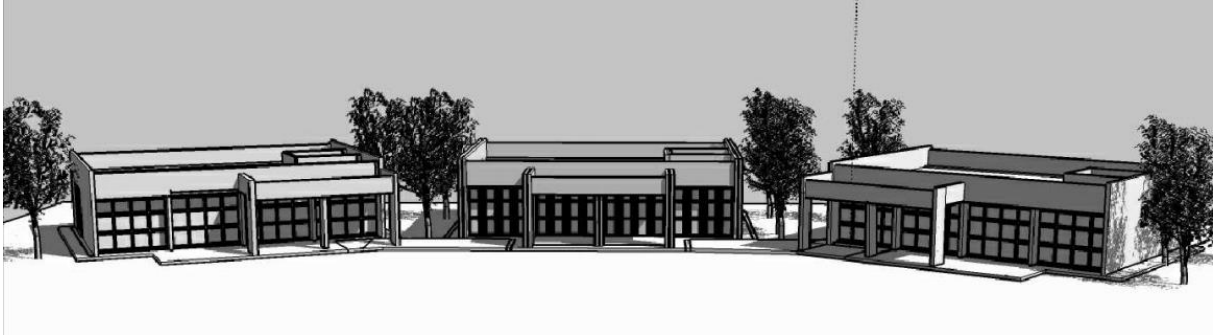
Infiltração de ar nas zonas térmicas [troca/hora]					
Horário	Sem ar-condicionado				Com ar-condicionado
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Quatro estações
00:00 às 8:00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
08:00 às 18:00	0,75	1,0	0,75	0,5	0,0
18:00 às 24:00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

5 EDIFICAÇÕES

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos de modelagem necessários para efetuar as simulações. As figuras 8 a 10 consistem em uma breve apresentação das edificações. A nomenclatura adotada para as edificações neste estudo é baseada

nas figuras 8 e 9. No prédio central está localizado o setor administrativo, nos prédios direito e esquerdo, estão as empresas incubadas.

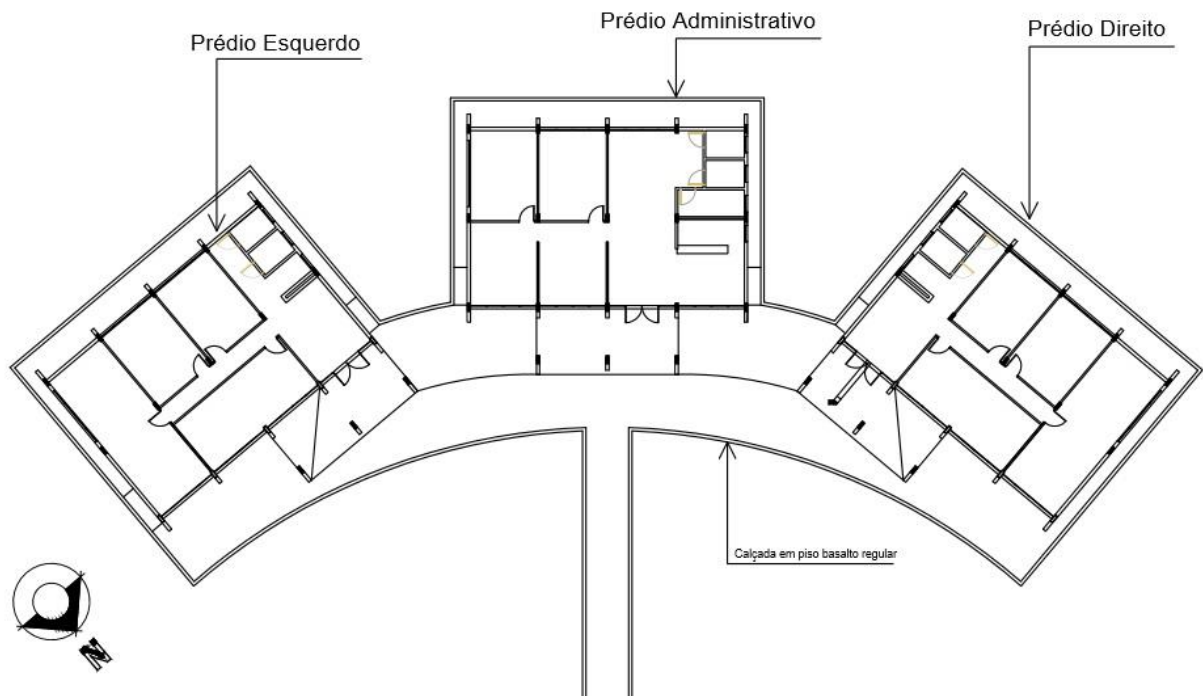
Figura 8 – Disposição das edificações vista frontal.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

A figura 9 apresenta a vista superior das edificações provenientes do projeto de implantação (anexo A).

Figura 9 – Disposição das edificações, projeto arquitetônico vista superior.



Fonte: Adaptado de projeto de implantação PampaTec.

A figura 10 apresenta a disposição real das edificações; esta imagem foi obtida através de imagens aéreas com auxílio do drone da universidade. Esta imagem serve

para confirmar que a orientação dos prédios foi mantida conforme o projeto arquitetônico.

Figura 10 – Disposição das edificações, imagem real vista aérea.



Fonte: Adaptado de Direção – UNIPAMPA Campus Alegrete.

5.1 Zoneamento Térmico

Nesta sessão, serão apresentadas as zonas térmicas das edificações, bem como as informações pertinentes a elas. O zoneamento foi efetuado de modo a manter os modelos o mais próximo do projeto arquitetônico da edificação.

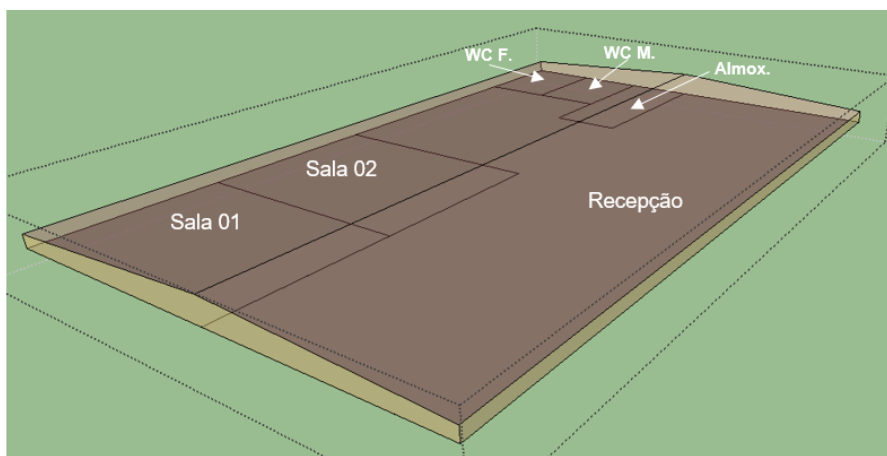
Todos os modelos realizados levam em conta os sombreamentos artificiais das edificações, como por exemplo, brises e lajes de cobertura das entradas. Estes elementos não são considerados como superfícies de troca térmica pelo programa, pois não delimitam zonas térmicas.

Nas zonas térmicas são informadas as cargas térmicas internas, provenientes do número de pessoas ocupantes, da intensidade de atividade física, da potência de iluminação e dos equipamentos contidos em cada zona. Considerou-se para as simulações o período de funcionamento das 8:00 h às 18:00 h para todos os dias úteis do ano para as três edificações. Os banheiros e áreas de circulação consistem em zonas sem condicionamento de ar.

Os telhados das edificações consistem em uma única zona térmica, com o seu piso dividido em várias superfícies de troca térmica correspondendo aos tetos das

zonas térmicas de ocupação da edificação. Para ilustração, o telhado referente ao Prédio Administrativo é representado na figura 11. O mesmo procedimento de divisão em superfícies correspondentes foi realizado nas demais edificações.

Figura 11 – Ilustração da configuração das zonas térmicas dos tetos referente ao Prédio Administrativo.



Fonte: Acervo do autor.

5.1.1 Prédio Administrativo

O Prédio Administrativo, conforme mostrado na Figura 12, foi dividido em 6 zonas térmicas além do telhado, conforme ilustrado nas figuras 13 e 14. As 6 zonas térmicas são constituídas de 56 superfícies de troca térmica, das quais: 36 superfícies são divididas entre paredes, pisos e teto; 20 superfícies são constituídas de aberturas, as quais são subdivididas entre portas e janelas.

Será simulada nesta edificação a zona térmica identificada como Almoxarifado, visto que nela no projeto deveria ser instalado o servidor.

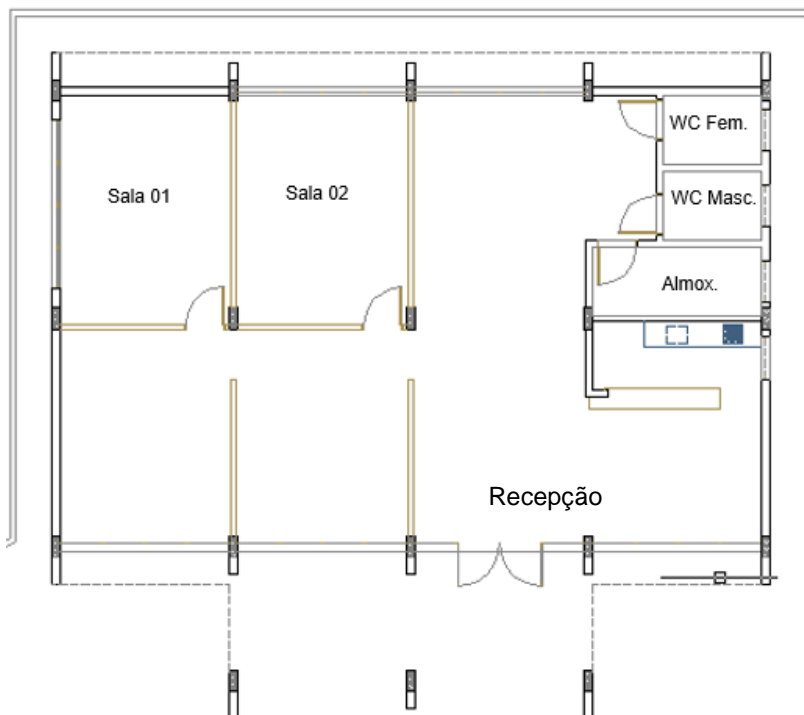
Figura 12 – Fachada do Prédio Administrativo.



Fonte: Acervo do autor.

A figura 13 apresenta a divisão dos ambientes internos segundo a planta baixa, referente ao Prédio Administrativo.

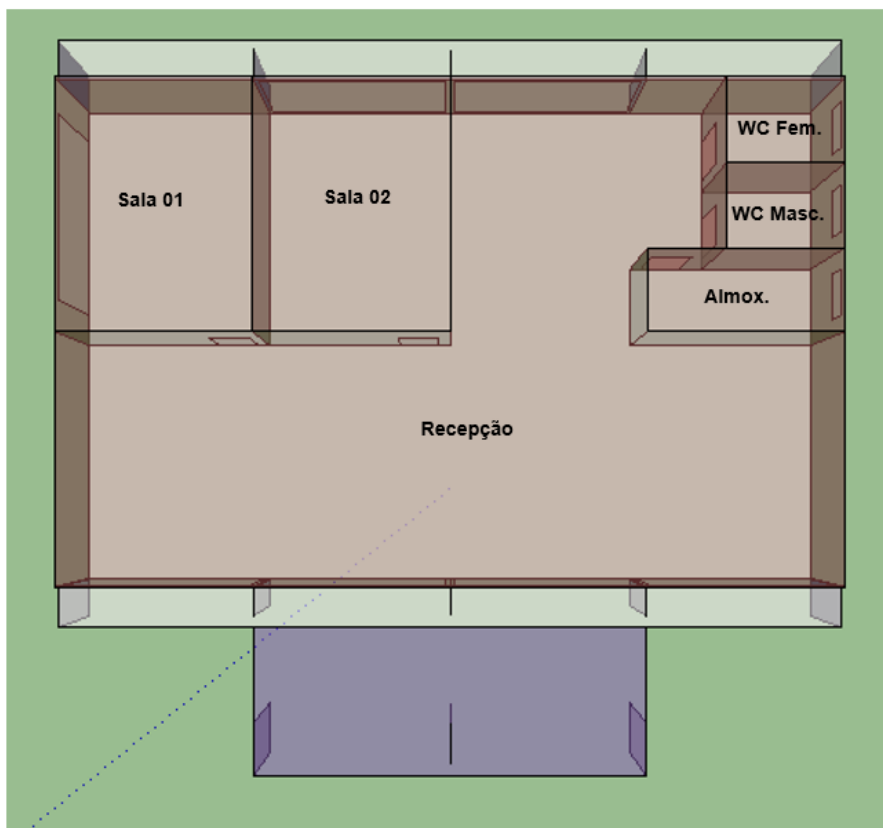
Figura 13 – Planta baixa, Prédio Administrativo.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

A seguir apresenta-se a planta baixa do zoneamento térmico realizado através do Google Sketchup (Figura 14).

Figura 14 – Vista superior ou planta baixa do zoneamento térmico do Prédio Administrativo, realizado no Google Sketchup.



Fonte: Acervo do autor.

5.1.2 Prédio Esquerdo

O Prédio Esquerdo, conforme mostrado na Figura 15, foi dividido em 8 zonas térmicas além do telhado, conforme ilustrado nas figuras 16 e 17. A zona térmica denominada Circulação foi separada da zona denominada Recepção para análise da carga térmica.

As 8 zonas térmicas são constituídas de 70 superfícies de troca térmica, das quais: 47 superfícies são divididas entre paredes, pisos e tetos; 23 superfícies são constituídas de aberturas, as quais são subdivididas entre portas e janelas.

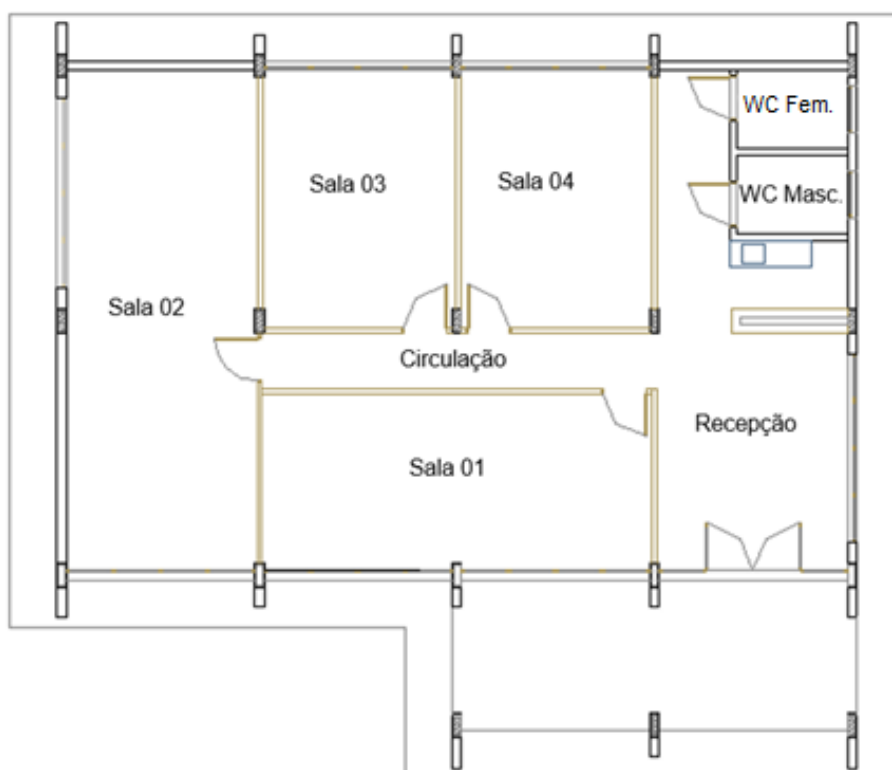
Figura 15 – Fachada do Prédio Esquerdo.



Fonte: Acervo do autor.

A figura 16 apresenta a divisão dos ambientes internos segundo a planta baixa, referente ao Prédio Esquerdo.

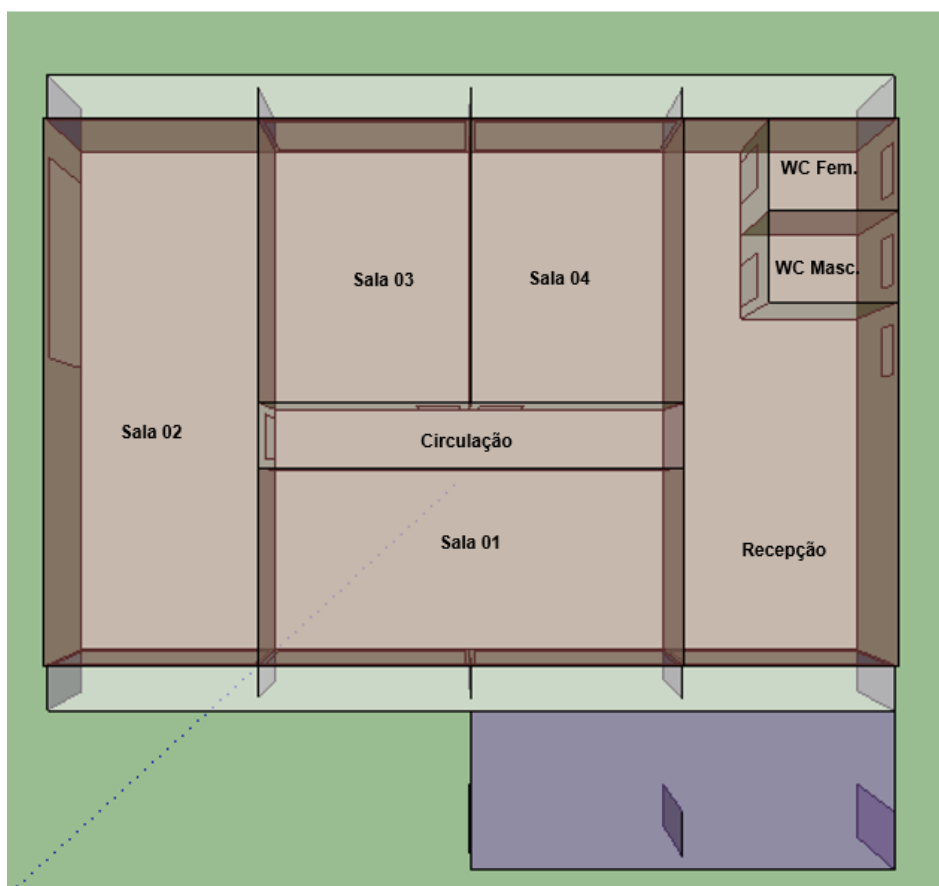
Figura 16 – Planta baixa, Prédio Esquerdo.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

A planta baixa do zoneamento térmico referente ao Prédio Esquerdo é apresentada na figura 17.

Figura 17 – Vista superior ou planta baixa do zoneamento térmico do Prédio Esquerdo, realizado no Google Sketchup.



Fonte: Acervo do autor.

5.1.3 Prédio Direito

Seguindo os mesmos procedimentos do zoneamento térmico dos prédios anteriores, o Prédio Direito, conforme mostrado na figura 18, foi dividido em 10 zonas térmicas além do telhado, ilustradas nas figuras 19 e 20. As 10 zonas térmicas são constituídas de 85 superfícies de troca térmica, das quais: 58 superfícies são divididas entre paredes, pisos e tetos; 27 superfícies são constituídas de aberturas, as quais são subdivididas entre portas e janelas.

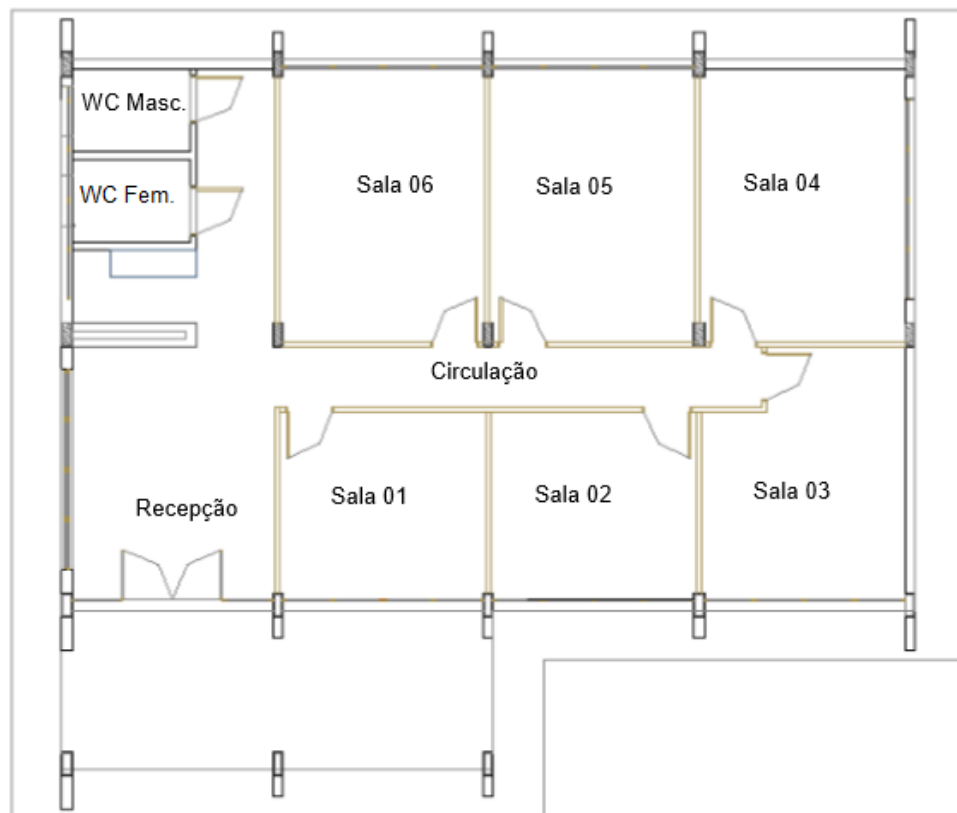
Figura 18–Fachada do Prédio Direito



Fonte: Acervo do autor.

A seguir a planta baixa do Prédio Direito (figura 19) é apresentada com sua respectiva divisão dos ambientes internos.

Figura 19 – Planta baixa, Prédio Direito.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

A planta do zoneamento térmico efetuado para o Prédio Direito é apresentada na figura 20.

Figura 20 – Vista superior do zoneamento térmico do Prédio Direito, realizado no Google Sketchup.



Fonte: Acervo do autor.

5.2 Elementos Construtivos

Os elementos construtivos das edificações, como paredes, pisos, forros, divisórias e coberturas foram obtidos através do projeto arquitetônico, do memorial descritivo e do memorial de cálculo orçamentário. As plantas baixas com mais detalhes das edificações encontram-se no anexo B.

A tabela 2 apresenta os materiais e dimensões que constituem as paredes internas, externas pisos e coberturas.

Tabela 2 – Materiais construtivos.

Elemento	Camadas de Materiais	Espessura (mm)
Paredes Externas	Reboco Cor Clara	25
	Tijolo Furado	100
	Reboco Cor Clara	25
Paredes Internas	Gesso Acartonado	12,5
	Lã de Rocha	100
	Gesso Acartonado	12,5
Pisos	Terra	500
	Concreto	10
	Argamassa Contrapiso	5
	Argamassa de Assentamento	3
	Piso Cerâmico Branco	5
Forros	Concreto	100
	Gesso Acartonado	12,5
Telhado	Telha de Fibrocimento	3

Informações sobre as propriedades termofísicas dos materiais construtivos e da madeira compensada encontram-se na tabela 3. A madeira compensada foi adicionada à tabela 3, pois trata-se de um material opaco, portanto levam-se em conta os mesmo parâmetros que os materiais construtivos.

Tabela 3 – Propriedades termofísicas dos materiais opacos.

Material	Propriedades termofísicas						
	d_m [mm]	k_m [W/m.K]	ρ_m [kg/m ³]	$C_{p,m}$ [J/kg.K]	α_t	α_s	α_v
Reboco Cor Clara	25	1,15	2000	1000	0,90	0,20	0,20
Tijolo Furado	100	0,51	1121,3	830	0,90	0,20	0,20
Gesso Acartonado	13	0,35	1000	840	0,91	0,20	0,20
Concreto	100	0,17	640,73	1000	0,90	0,65	0,65
Argamassa Contrapiso	30	1,15	2000	1000	0,90	0,50	0,50
Argamassa de Assentamento	5	1,15	2000	1000	0,90	0,50	0,50
Piso Cerâmico Branco	5	1	1900	1000	0,90	0,43	0,43
Telha de Fibrocimento	3	0,079	19922	830	0,90	0,70	0,70
Madeira compensada clara	35	0,12	350	2300	0,92	0,50	0,50
Placa de gesso oca	100	0,34	480,55	830	0,90	0,75	0,75

Onde:

$C_{p,m}$: Calor específico do material [J/kg.K];

d_m : Espessura do material [mm];

k_m : Condutividade térmica do material [W/m. K];

α_s : Absortividade da radiação solar integrado em todo espectro do comprimento de onda [-];

α_t : Absortividade da radiação térmica de onda longa [-]

α_v : Absortividade da radiação solar integrado no espectro de comprimento de onda visível [-];

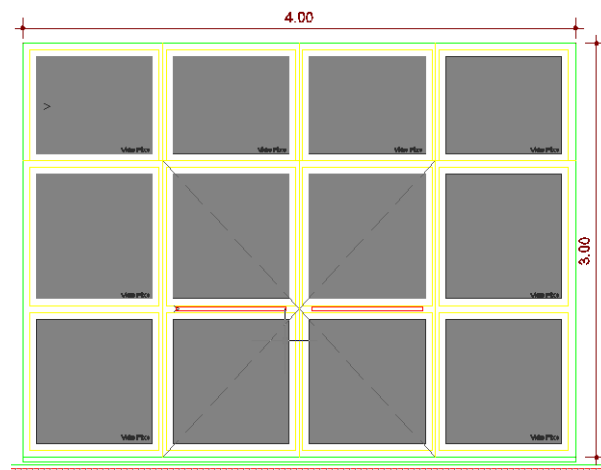
ρ_m : Densidade do material [kg/m³].

5.3 Janelas e Portas

As informações pertinentes às aberturas (portas e janelas), assim como dos elementos construtivos foram obtidas através do projeto arquitetônico, do memorial descritivo e do memorial de cálculo orçamentário.

As aberturas das edificações analisadas representam superfícies de troca consideravelmente grandes, em se tratando das portas e janelas externas, conforme mostrado nas figuras 21 e 22. As janelas externas são constituídas de vidros simples. As fachadas envidraçadas têm grande influência no cálculo da carga térmica, sendo, portanto, um fator de importância neste estudo.

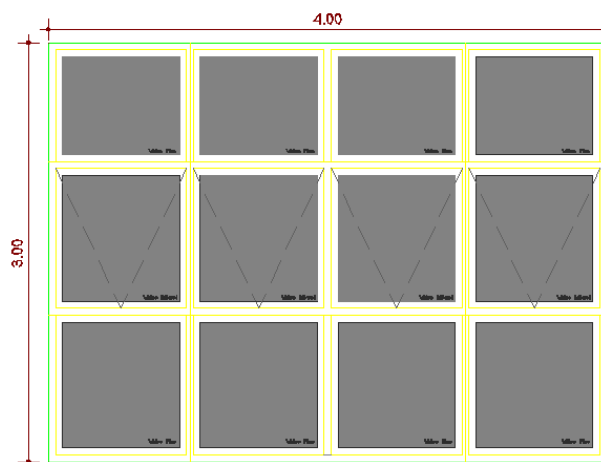
Figura 21 – Dimensões das portas externas.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

As dimensões das janelas externas que constituem a fachada das edificações são detalhadas na figura 22.

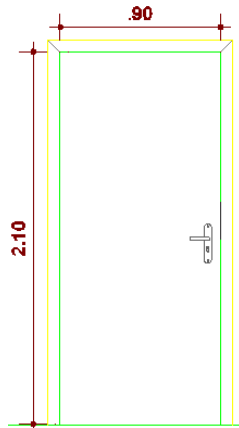
Figura 22 – Dimensões das janelas externas.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

As portas internas, conforme mostradas na figura 23, também, foram consideradas no estudo, no entanto elas representam menor influência nos fenômenos de troca térmica do que as aberturas externas.

Figura 23 – Representação das dimensões das portas internas.



Fonte: Adaptado de projeto arquitetônico PampaTec.

A tabela 4 apresenta os elementos que constituem janelas e portas, internas e externas.

Tabela 4 – Materiais das aberturas.

Elemento	Camadas de Materiais	Espessura (mm)
Janelas Externas	Vidros Simples	4
Portas Externas	Vidros Simples	4
Portas Internas	Madeira Compensada	35

As propriedades termofísicas dos vidros utilizados nas aberturas externas são apresentadas nas tabelas 5, já as propriedades da madeira compensada utilizada nas portas internas foi apresentada na tabela 3, por tratar-se de um material opaco.

Tabela 5 – Propriedades óticas do vidro utilizado nas aberturas.

Propriedades óticas e físicas do vidro de 4 mm	
T_s	0,85
R_{fs}	0,08
R_{bs}	0,08
T_v	0,898
R_{fv}	0,081
R_{bv}	0,081
T_{ir}	0
ε_f	0,837
ε_b	0,837
k_v	1

Onde:

R_{bs} : Refletância solar na direção normal à superfície interna do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar [-];

R_{bv} : Refletância visível na direção normal à superfície interna do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano [-];

R_{fs} : Refletância solar na direção normal à superfície externa do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar [-];

R_{fv} : Refletância visível na direção normal à superfície externa do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano [-];

T_{ir} : Transmitância na direção normal à superfície do vidro integrado em toda a faixa do comprimento de onda longa do espectro solar [-];

T_s : Transmitância solar na direção normal à superfície do vidro integrado sobre toda a faixa do espectro solar [-];

T_v : Transmitância visível na direção normal à superfície do vidro integrado na faixa do espectro solar visível ponderado pela resposta fotóptica do olho humano [-];

k_v : Condutividade térmica do vidro [W/m.K];

ε_b : Emissividade hemisférica da superfície interna do vidro no comprimento de onda longa [-];

ε_f : Emissividade hemisférica da superfície externa do vidro no comprimento de onda longa [-]

5.4 Cargas Internas

As cargas internas compreendem o calor adicionado ao volume de controle de ar, ou zona térmica, pelos equipamentos elétricos, iluminação e ocupação. Estas cargas têm grande influência para a determinação das condições térmicas do ambiente e obtenção de conforto térmico. As cargas internas são apenas consideradas nos períodos de ocupação, visto que não há equipamentos que necessitem uso contínuo

5.4.1 Pessoas

A carga térmica adicionada ao ambiente pelas pessoas consiste no calor emitido pela atividade física, proveniente da geração metabólica. Foram utilizados como carga de ocupação valores de 108 a 180 W por pessoa, de acordo com a atividade física realizada, onde estes valores referem-se ao indivíduo sentado a caminhando respectivamente.

A resistência térmica referente às roupas das pessoas ocupantes dos ambientes foi definida de acordo com a estação do ano, como representado na tabela 6.

Tabela 6 – Resistência térmica das vestimentas.

Resistência Térmica [clo]	Estação	Resistência Térmica [m ² .K/W]
0,75	Primavera	0,116
0,5	Verão	0,078
0,75	Outono	0,116
1	Inverno	0,155

As medidas de clo apresentadas na tabela 6 representam na simulação a resistência térmica da vestimenta, conforme a estação do ano. A combinação de roupas correspondente a 1 clo pode ser entendida como uma calça e camisa de mangas longas, ou vestimenta mais pesada. Já a combinação de 0,5 corresponde à combinação de uma calça e camisa de mangas curtas.

A ocupação considerada em projeto para o Prédio Esquerdo é descrita na tabela 7, para as demais edificações os valores encontram-se descritos nas tabelas 8 e 9.

Tabela 7 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Esquerdo.

Zona térmica	Ocupação [Pessoas/Zona]
Recepção	1
Sala01	8
Sala02	12
Sala03	6
Sala04	6
Banheiro Masc.	1
Banheiro Fem.	1
Circulação	1

Os valores de ocupação para o Prédio Administrativo são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Administrativo.

Zona térmica	Ocupação [Pessoas/Zona]
Recepção	15
Sala01	8
Sala02	12
Servidor/Almox.	1
Banheiro Masc.	1
Banheiro Fem.	1

A ocupação para o Prédio Direito é apresentada na tabela 9.

Tabela 9 – Ocupação (Pessoas/Zona) Prédio Direito.

Zona térmica	Ocupação [Pessoas/Zona]
Recepção	1
Sala01	4
Sala02	4
Sala03	4
Sala04	6
Sala05	6
Sala06	6
Banheiro Masc.	1
Banheiro Fem.	1
Circulação	1

5.4.2 Equipamentos

Todas as salas são destinadas às empresas incubadas, deste modo um grande número de computadores é previsto para cada sala. Os equipamentos exercem uma grande influência na determinação da carga térmica.

A energia térmica liberada pelos equipamentos internos à zona térmica é dividida entre energia radiante e convectiva, com percentuais de 20% e 80% respectivamente. As tabelas 10 a 12 apresentam as potências de equipamentos elétricos consideradas para cada ambiente de cada edificação.

Tabela 10 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Esquerdo.

Zona térmica	Potência Elétrica de Equipamentos [W]
Recepção	1500
Sala01	2100
Sala02	3000
Sala03	1800
Sala04	1800

Na tabela 10 são descritas as potências dos equipamentos elétricos referentes ao Prédio Esquerdo, já a tabela 11 apresenta os valores referentes ao Prédio Administrativo.

Tabela 11 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Administrativo.

Zona térmica	Potência Elétrica de Equipamentos [W]
Recepção	6300
Sala01	1500
Sala02	1500
Servidor/Almox.	4800

A tabela 12 apresenta os valores das potências de equipamentos elétricos para cada zona do Prédio Direito.

Tabela 12 – Potência de equipamentos elétricos por zona térmica do Prédio Direito.

Zona térmica	Potência Elétrica de Equipamentos [W]
Recepção	2100
Sala01	1200
Sala02	1200
Sala03	1200
Sala04	1500
Sala05	1800
Sala06	1800

A potência utilizada para cada sala, referente aos equipamentos internos, foi obtida através do projeto elétrico das edificações, o qual consta no anexo C.

5.4.3 Iluminação

A potência de iluminação foi obtida através do projeto elétrico das edificações. O calor liberado pelas lâmpadas é constituído por parcelas convectiva e radiante.

Todas as lâmpadas instaladas possuem 32 W de potência elétrica e são do tipo fluorescente, para as quais 20% do potencial elétrico é convertido em radiação visível, 20% em radiação de onda longa e 60% é transferida para o ambiente por convecção.

A potência de iluminação por ambiente para o Prédio Esquerdo é apresentada na tabela 13.

Tabela 13 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Esquerdo.

Zona térmica	Potência de Iluminação [W]
Recepção	448
Sala01	768
Sala02	1152
Sala03	576
Sala04	576
Banheiro Masc.	64
Banheiro Fem.	64
Circulação	448

A potência de iluminação por ambiente para o Prédio Administrativo é apresentada na tabela 14.

Tabela 14 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Administrativo.

Zona térmica	Potência de Iluminação [W]
Recepção	1856
Sala01	576
Sala02	576
DML/Almox.	128
Banheiro Masc.	64
Banheiro Fem.	64

A potência de iluminação por ambiente para o Prédio Direito é apresentada na tabela 15.

Tabela 15 – Potência de iluminação por zona térmica do Prédio Direito.

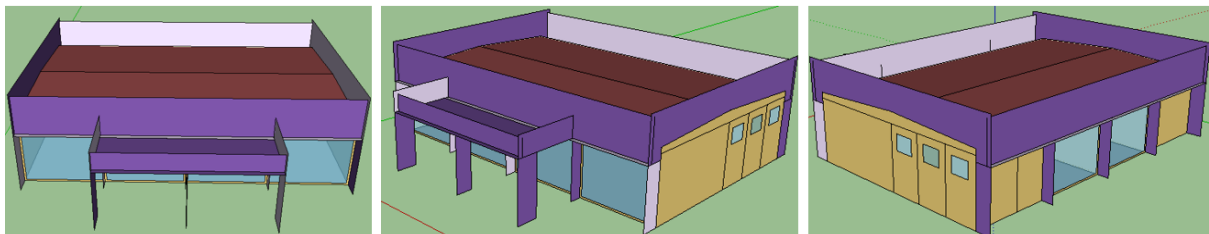
Zona térmica	Potência de Iluminação [W]
Recepção	448
Sala01	384
Sala02	384
Sala03	512
Sala04	576
Sala05	576
Sala06	576
Banheiro Masc.	64
Banheiro Fem.	64
Circulação	256

5.5 Sombreamento Externo

Considerou-se como sombreamento externo das edificações todos os elementos externos fixos às edificações. Os sombreamentos são constituídos pelos brises, platibandas e pelas coberturas das áreas de circulação externas, representados na

figura 24 pelas superfícies com tons de roxo. Todos os sombreamentos foram adotados como sendo superfícies opacas à transmissão de radiação solar.

Figura 24 – Representação dos sombreamentos no Google Sketchup, Prédio Administrativo.



Fonte: Acervo do autor.

6 SIMULAÇÕES

Para efetuar as simulações é necessária a utilização dos dias de projeto e do arquivo climático da cidade onde a edificação se encontra. Estas informações são obtidas de dados meteorológicos e caracterizam o clima da localidade. As definições e informações sobre dias de projeto e arquivos climáticos são descritas a seguir.

6.1 Arquivo Climático

O arquivo climático é utilizado nas simulações para estimar o consumo elétrico das edificações, bem como as parcelas que o compõe: iluminação, equipamentos elétricos e sistema de ar condicionado.

Um arquivo climático contém uma série de informações meteorológicas horárias provenientes de medições em determinada localidade ou estação, por um período de 10 anos ou mais. Um tratamento estatístico dos dados obtidos neste período é feito de modo a obter os meses que melhor representam o clima da região. Os 12 meses mais representativos constituem um arquivo climático de ano típico, ou seja, o ano que melhor representa o clima da região nos últimos 10 ou mais anos. As informações contidas no arquivo climático são listadas na tabela 16.

Tabela 16 – Dados climáticos contidos no arquivo climático.

Dados climáticos	Unidade
Data e hora	[-]
Temperatura de bulbo seco	[°C]
Temperatura de bulbo úmido	[°C]
Temperatura de orvalho	[°C]
Umidade relativa	[%]
Conteúdo de umidade	$[g_w/kg_{AS}]$
Pressão atmosférica	[Pa]
Densidade	$[kg/m^3]$
Entalpia	$[kJ/kg]$
Velocidade do Vento	[m/s]
Direção do vento	[°]
Índice de nebulosidade [0 a 1]	[-]
Radiação horizontal extraterrestre	$[Wh/m^2]$
Radiação global horizontal	$[Wh/m^2]$
Radiação direta	$[Wh/m^2]$
Radiação direta normal	$[Wh/m^2]$
Radiação difusa horizontal	$[Wh/m^2]$
Temperatura do Solo	[°C]

6.2 Dias de Projeto

Dias de projeto são os dias utilizados pelo programa para calcular a potência do sistema de refrigeração (HVAC) dos ambientes, a metodologia para determinar os dias de projeto estatísticos é definida pela ASHRAE (2013). Estas informações são levantadas por um determinado período e abrangem diversas cidades do mundo, chegando atualmente a 5564 estações.

Dias de projeto são considerados os dias do ano de maior demanda térmica do ambiente, seja para refrigeração (verão) ou aquecimento (inverno). Os dias de projeto são definidos levando em conta as condições da temperatura de bulbo seco e úmido, teor de umidade, temperatura de orvalho, velocidade e direção do vento.

A cidade de Alegrete não possui estação meteorológica, portanto para o presente trabalho foram utilizados os dados referentes a cidade de Artigas no Uruguai. As duas cidades encontram-se a uma distância geográfica de 95 km, o que para dados meteorológicos é uma distância consideravelmente curta. A tabela 17 apresenta a localização geográfica de ambas as cidades.

Tabela 17 – Localização geográfica das cidades.

Cidade	Altitude [m]	Latitude Sul [°]	Longitude Oeste [°]
Alegrete	98	29,79	55,76
Artigas	120	30,38	56,50

Os dias de projeto de verão são determinados para frequência de ocorrências cumulativas de 0,4, 1,0 e 2,0 % ao ano, ou seja, para 35, 87 e 175 horas das 8760 anuais, respectivamente. Isto significa que, para frequências de ocorrência menores que as previamente definidas, o sistema de ar condicionado pode não manter a temperatura do ar da zona em 24,5 °C, isto é, na temperatura de conforto para os dias de verão.

Os dias de projeto de inverno são determinados para frequências de ocorrências cumulativas de 99,0 e 99,6 % ao ano, do total de 8760 horas, representando 8672 e 8725 horas anuais respectivamente. Neste caso, para frequências cumulativas anuais acima das previamente definidas, o sistema de ar condicionado pode não manter a temperatura do ar da zona em 22 °C, como previamente determinado.

Para os doze dias de projeto de verão foi adotada a frequência cumulativa de 0,4% para três propriedades psicrométricas: temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco e teor de umidade. Trabalha-se com quatro dias de projeto para cada uma das propriedades, referentes aos meses de dezembro, janeiro fevereiro e março, considerando dessa forma a variação na radiação solar causada pela inclinação e movimento de translação da terra.

Os dias de projeto de verão foram padronizados no trabalho para cada mês como sendo: temperatura de bulbo seco, dia 21; temperatura de bulbo úmido, dia 22; teor de umidade, dia 23.

Os dados climáticos não sofrem alteração para os dias de projeto de verão, deste modo apresenta-se nas tabelas 18 a 20 os dados climáticos referentes a cada uma das propriedades psicrométricas.

A tabela 18 apresenta as condições climáticas de verão para a temperatura de bulbo seco.

Tabela 18 – Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo seco.

Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo seco, dia 21					
Cidade	T_{bs} [°C]	MT_{bu} [°C]	ΔT_{bs}	U_{med} [m/s]	D_{vent} [°]
Artigas	35,3	22,8	11,9	3,8	0

Onde:

D_{vent} : Direção coincidente do vento predominante [°];

MT_{bu} : Média coincidente da temperatura de bulbo úmido [°C];

U_{med} : Média coincidente da velocidade do vento [m/s];

ΔT_{bs} : Amplitude de variação da temperatura de bulbo seco [°C];

O valor de D_{vent} tem como referência o norte geográfico, deste modo a orientação do vento é descrita pelo seguinte padrão: $N = 0^\circ$; $L = 90^\circ$; $S = 180^\circ$; $O = 270^\circ$.

A média MT_{bu} para p verão é obtida na temperatura de bulbo seco máxima, 35,3 °C, para a frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal anual da temperatura de bulbo seco para a cidade de Artigas.

A tabela 19 apresenta as condições climáticas de verão para a temperatura de bulbo úmido.

Tabela 19 – Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo úmido.

Dia de projeto de verão para temperatura de bulbo úmido, dia 22					
Cidade	T_{bu} [°C]	MT_{bs} [°C]	ΔT_{bu} [°C]	U_{med} [m/s]	D_{vent} [°]
Artigas	25,6	31,3	7,3	3,8	0

Onde:

ΔT_{bs} : Amplitude de variação da temperatura de bulbo seco [°C];

MT_{bs} : Média coincidente da temperatura de bulbo seco [°C];

A média MT_{bs} é obtida na temperatura de bulbo úmido máxima, 25,6 °C, para a frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal anual da temperatura de bulbo úmido para a cidade de Artigas.

A tabela 20 apresenta as condições climáticas de verão para a temperatura de bulbo úmido.

Tabela 20 – Dia de projeto de verão para teor de umidade.

Dia de projeto de verão para teor de umidade, dia 23						
Cidade	$W [g_w/kg_{AS}]$	$MT_{bu} [^{\circ}C]$	$T_o [^{\circ}C]$	$\Delta T_{bs} [^{\circ}C]$	$U_{med} [m/s]$	$D_{vent} [^{\circ}]$
Artigas	19,2	22,8	24,1	4,4	3,8	0

T_o : Temperatura do ponto de orvalho [$^{\circ}C$];

W : Teor de umidade do ar, em gramas de vapor d'água por kg de ar seco [g_{VA}/kg_{AS}];

Decidiu-se para o inverno trabalhar com dois dias de projeto, variando a nebulosidade do céu entre céu totalmente limpo e totalmente nublado, representados respectivamente pelos dias 21 de junho e 21 de julho, para frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal anual da temperatura de bulbo seco para a cidade de Artigas.

A tabela 21 apresenta os dados climáticos referentes ao dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco de 5,0 $^{\circ}C$, considerando variação diária da temperatura de bulbo seco igual a 9,6 $^{\circ}C$ e umidade relativa do ar em 60%.

Tabela 21 – Dia de projeto de inverno para céu limpo.

Dia de projeto de inverno para céu limpo, mês de junho.						
Cidade	$T_{bs} [^{\circ}C]$	$T_{bu} [^{\circ}C]$	UR	$\Delta T_{bs} [^{\circ}C]$	$U_{med} [m/s]$	$D_{vent} [^{\circ}]$
Artigas	5,0	-2,1	60%	9,6	1,4	140

Onde:

UR : Umidade relativa do ar [%].

A tabela 22 apresenta os dados climáticos referentes ao dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco de 0,9 $^{\circ}C$, considerando variação diária da temperatura de bulbo seco igual a 10,0 $^{\circ}C$ e umidade relativa do ar em 100%.

Tabela 22 – Dia de projeto de inverno para nublado.

Dia de projeto de inverno para céu nublado, mês de julho.						
Cidade	$T_{bs} [^{\circ}C]$	$T_{bu} [^{\circ}C]$	UR	ΔT_{bs}	$U_{med} [m/s]$	$D_{vent} [^{\circ}]$
Artigas	0,9	0,9	100%	10,0	1,4	140

7 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentadas as análises e discussões sobre as simulações efetuadas, este tópico está subdividido em: 7.1 Demanda de Refrigeração do Estado Atual, 7.2 Proposta de Películas nos Vidros, 7.3 Proposta de Iluminação com LED, 7.4 Máquinas Seleccionadas, 7.5 Condições de Temperatura e Umidade para as Zonas Térmicas e 7.6 Consumo de Energia Elétrica.

7.1 Demanda de Refrigeração no Estado Atual

Simulou-se nesta etapa a demanda de potência de refrigeração das edificações, com finalidade de fazer o cruzamento entre a potência necessária (*autosize*) e a potência atualmente instalada.

Os equipamentos de refrigeração instalados em cada um dos ambientes do Prédio Esquerdo são apresentados na tabela 23.

Tabela 23 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Esquerdo.

Sala	Marca	Potência [W]	Potência [Btu/h]	Vazão [m ³ /h]	EER
Sala 01	North Tech	7.032	24.000	1100	3,2
Sala 02	North Tech	2 x 5.274	2 x 18.000	2 x 790	3,2
Sala 03	Super Split	3.516	12.000	570	3,22
Sala 04	North Tech	3.516	12.000	560	3,22
Recepção	Super Split	3.516	12.000	570	3,22

Os equipamentos de refrigeração instalados nos ambientes do Prédio Administrativo são apresentados na tabela 24.

Tabela 24 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Administrativo.

Sala	Marca	Potência [W]	Potência [Btu/h]	Vazão [m ³ /h]	EER
Recepção	Smartcool	4 x 5.274	4 x 18.000	4 x 770	3,2
Sala 01	Smartcool	3.516	12.000	570	3,22
Sala 02	Samsonic	5.274	18.000	1000	3,2
Almoxarifado	Super Split	7.032	24.000	1100	3,2

Os equipamentos de refrigeração instalados nos ambientes do Prédio Direito são apresentados na tabela 25.

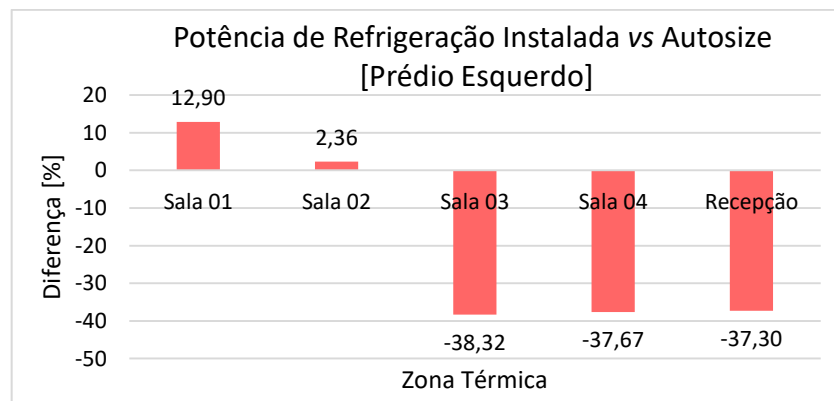
Tabela 25 – Equipamentos de refrigeração instalados, Prédio Direito.

Sala	Marca	Potência [W]	Potência [Btu/h]	Vazão [m ³ /h]	EER
Sala 01	Super Split	3.516	12.000	570	3,22
Sala 02	Super Split	3.516	12.000	570	3,22
Sala 03	Super Split	3.516	12.000	570	3,22
Sala 04	North Tech	5.274	18.000	790	3,2
Sala 05	North Tech	5.274	18.000	790	3,2
Sala 06	SmartCool	5.274	18.000	1050	3,2
Recepção	North Tech	7.032	24.000	1100	3,2

Considerando as máquinas instaladas como referência, a falta de potência de refrigeração é representada por valores negativos e a sobra, por valores positivos.

O resultado obtido referente à diferença percentual de dimensionamento é apresentado no gráfico da figura 25 para o Prédio Esquerdo.

Figura 25 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Esquerdo.

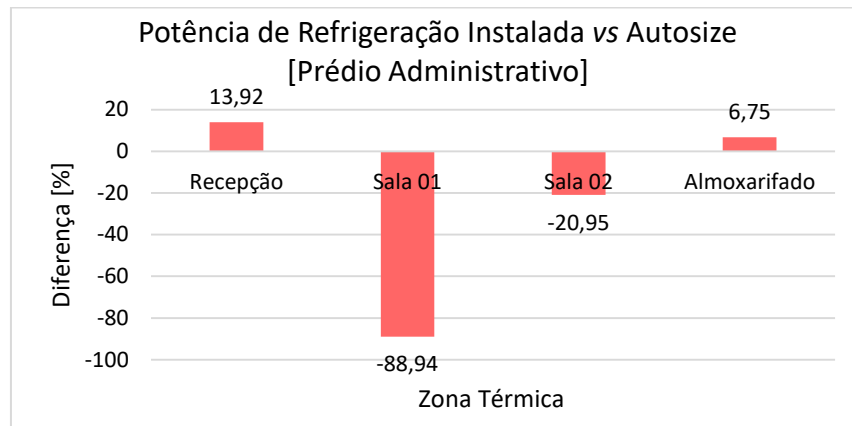


Fonte: Acervo do autor.

O gráfico acima demonstra que não houve um dimensionamento adequado dos equipamentos a serem instalados no Prédio Esquerdo, visto que, enquanto as salas 01 e 02 apresentam sobra de potência de refrigeração, as demais zonas térmicas tem um déficit de potência de mais de 37%.

O resultado obtido referente à diferença percentual de dimensionamento para o Prédio Administrativo é apresentado a seguir na figura 26.

Figura 26 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Administrativo.

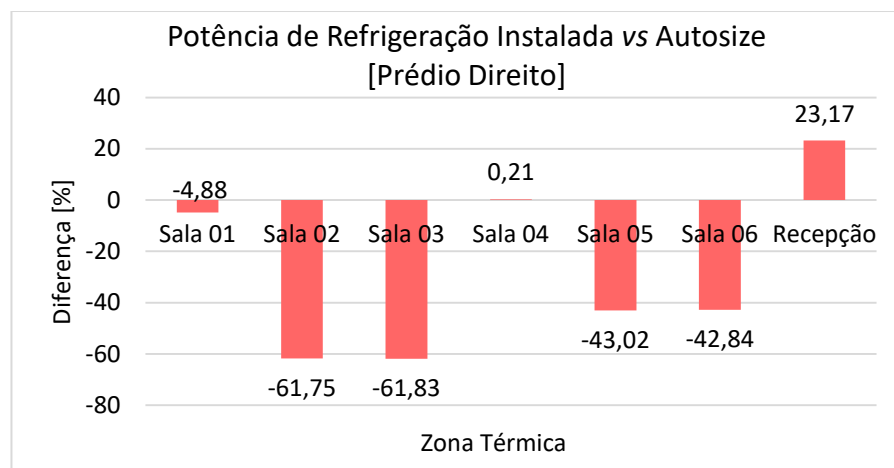


Fonte: Acervo do autor.

No gráfico referente ao Prédio Administrativo percebe-se novamente a falta de um dimensionamento adequado, pois enquanto há sobra de potência de refrigeração nas zonas térmicas da Recepção e Almojarifado, verifica-se que para a Sala01 a falta de potência de refrigeração passa de 88%.

A figura 27 apresenta os resultados da diferença de dimensionamento para o Prédio Direito.

Figura 27 – Potência de refrigeração instalada vs autosize, Prédio Direito.



Fonte: Acervo do autor.

No gráfico do Prédio Direito nota-se que em 4 zonas térmicas a falta de potência de refrigeração é de mais de 40%.

A grande diferença entre o dimensionamento realizado pelo EnergyPlus e a potência de refrigeração instalada é devida a um dimensionamento inadequado do sistema de refrigeração. Isso se deve, provavelmente, porque é considerada apenas a área do ambiente e não a quantidade de equipamentos elétricos, posição solar, área das aberturas de vidro entre outros. Deste modo, algumas zonas possuem déficits consideráveis na potência de refrigeração.

Através destas análises é possível notar a necessidade de um novo sistema de refrigeração que consiga atender a demanda de potência de refrigeração dos ambientes.

7.2 Proposta de Películas nos Vidros

As propriedades óticas de um vidro variam de acordo com sua espessura, coloração, número de camadas, espaçamento entre as camadas, tipo de película aplicada sobre ele, entre outros fatores.

Segundo Pereira (2005) quanto maior a área envidraçada de uma fachada, maior o potencial de redução da carga térmica com utilização de películas. Deste modo, a utilização de películas nos vidros consiste na principal proposta deste trabalho, pois como apresentou-se no tópico 1.1 (Definição do Problema), os prédios do PampaTec possuem praticamente toda sua fachada frontal constituída de aberturas de vidros simples.

Foram efetuadas simulações com películas nas tonalidades: Cinza Claro-Médio, Cinza Médio, Cinza Médio-Escuro e Cinza Escuro, escolhidas com base no estudo de Pereira (2005). Selecionaram-se apenas as 4 películas mais escuras pois as mesmas obtiveram melhores resultados nas avaliações de Pereira (2005). As propostas simuladas foram para películas instaladas na face interior dos vidros. Consideraram-se também nas simulações as salas sem cortinas, visto que a maioria não possui este tipo de proteção.

As simulações foram realizadas em *autosize*, ou seja, o programa dimensiona as potências de refrigeração necessárias, para que cada ambiente mantenha a temperatura de 24,5°C em todo período de ocupação.

As propriedades óticas das composições dos vidros com películas estão apresentadas na tabela 26.

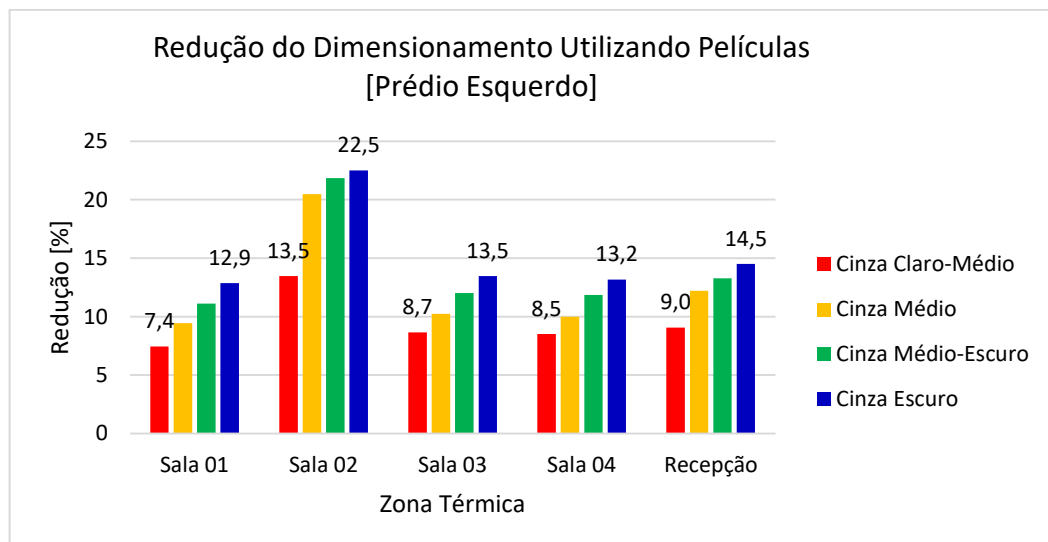
Tabela 26 – Tabela das propriedades ópticas das composições de vidros com películas.

Propriedade	Cinza Claro-Médio	Cinza Médio	Cinza Médio-Escuro	Cinza Escuro
d_m [mm]	4,035	4,023	4,023	4,035
T_s	0,244	0,154	0,123	0,0855
R_{fs}	0,361	0,547	0,630	0,588
R_{bs}	0,193	0,619	0,630	0,283
T_v	0,302	0,221	0,166	0,119
R_{fv}	0,249	0,424	0,607	0,462
R_{bv}	0,146	0,489	0,582	0,208
T_{ir}	0,000	0,000	0,000	0,000
ε_f	0,840	0,840	0,840	0,840
ε_b	0,840	0,330	0,700	0,820
k_v [W/m.K]	0,928	0,942	0,942	0,928

Os gráficos das figuras 28 a 30 apresentam a redução no dimensionamento realizado pelo programa, comparando-se as simulações sem película com as utilizando películas nos vidros. A película de tonalidade Cinza Escuro foi a que resultou em maior redução na potência necessária de refrigeração para as três edificações.

A figura 28 apresenta os resultados destas simulações para o Prédio Esquerdo.

Figura 28 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Esquerdo.

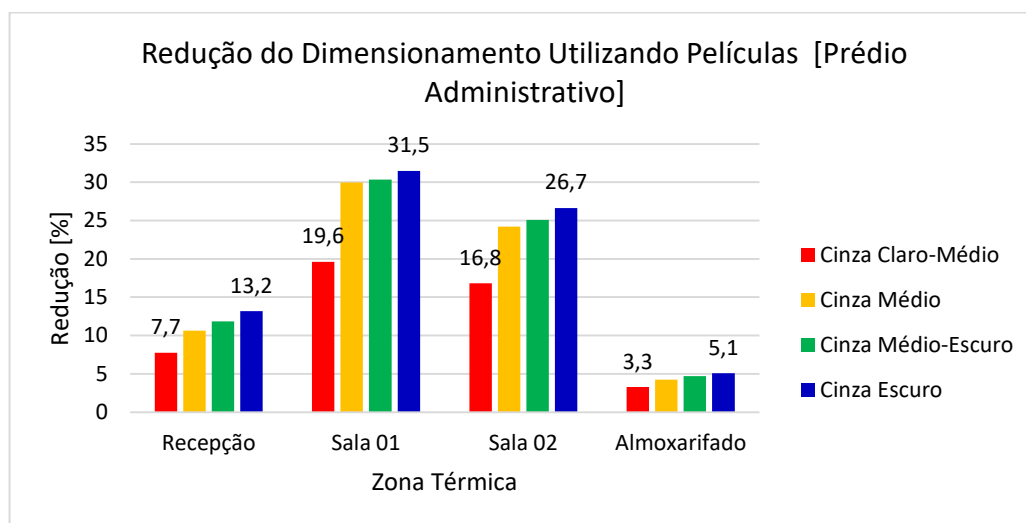


Fonte: Acervo do autor.

Através da figura 28 pode-se perceber que houve redução na potência necessária para refrigeração em todas as zonas, resultando em uma redução de aproximadamente 15,3% em média.

A figura 29 apresenta a redução percentual na demanda de potência de refrigeração referente ao Prédio Administrativo.

Figura 29 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Administrativo.

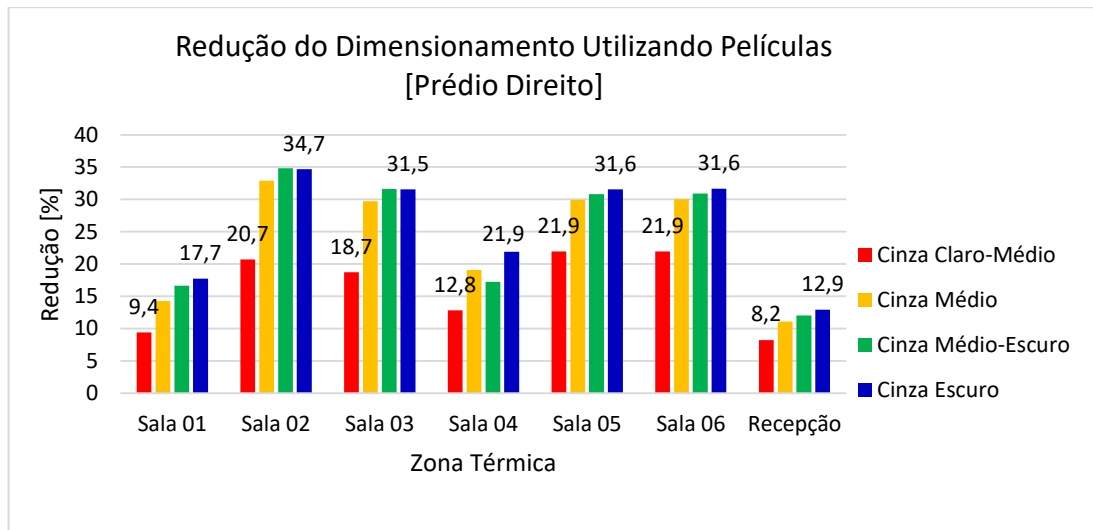


Fonte: Acervo do autor.

Pode-se notar que a maior redução na demanda térmica, utilizando a película mais escura, ocorreu para a sala que possuía o maior déficit de dimensionamento, como mostrado anteriormente. No quadro geral, o Prédio administrativo apresentou redução média de aproximadamente 19,1% na demanda de potência de refrigeração, utilizando a película Cinza Escuro.

Por fim, a figura 30 apresenta a redução percentual da demanda para o Prédio Direito.

Figura 30 – Redução do dimensionamento utilizando películas, Prédio Direito.



Fonte: Acervo do autor.

A figura 30 demonstra que, quatro das sete zonas com sistema de refrigeração, obtiveram uma redução na demanda de potência de refrigeração de mais de 30%, utilizando a película mais escura. O Prédio Direito possui fachada frontal predominantemente voltada para o leste, isto faz com que a incidência solar seja maior, portanto as películas surtiram maior efeito nesta edificação, resultando em uma redução média de aproximadamente 26%.

Pode-se concluir através da análise dos dados obtidos para as simulações com películas, que a potência de refrigeração necessária tem uma redução maior para a película de tonalidade mais escura.

O consumo do sistema de refrigeração referente a cada um dos casos para as três edificações, visto que os ganhos térmicos provenientes de iluminação, equipamentos e ocupação, foram adotados como fixos para estas simulações.

A tabela 27 a seguir apresenta o consumo anual de energia elétrica referente ao Prédio Esquerdo.

Tabela 27 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Esquerdo.

Consumo Anual de Energia		
Simulação	Sistema de Refrigeração [kWh]	Total [kWh]
Máquinas Instaladas	13513,08	65693,48
Autosize Atual	15022,50	67202,90
Película Cinza Claro-Médio	13774,20	65954,60
Película Cinza Médio	13439,60	65620
Película Cinza Médio-Escuro	13193,38	65373,78
Película Cinza Escuro	12975,58	65155,98

Através da análise destes resultados conclui-se que, em comparação à simulação com as máquinas instaladas, a simulação com a película Cinza Escuro obteve uma redução de aproximadamente 0,9% no consumo anual de energia elétrica do sistema de refrigeração. Já comparando com a simulação em *autosize* do estado atual a redução é de 13,6%. Esta redução é devida ao menor consumo do sistema de refrigeração dimensionado pelo programa.

A tabela 28 a apresenta o consumo referente ao Prédio Administrativo.

Tabela 28 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Administrativo.

Consumo Anual de Energia Elétrica		
Simulação	Sistema de Refrigeração [kWh]	Total [kWh]
Máquinas Instaladas	16889,99	80268,59
Autosize Atual	18167,98	81546,58
Película Cinza Claro-Médio	16875,48	80254,08
Película Cinza Médio	16492,03	79870,63
Película Cinza Médio-Escuro	16255,23	79633,84
Película Cinza Escuro	16029,22	79407,81

Através da análise destes resultados conclui-se que, para o Prédio Administrativo, comparando a simulação com as máquinas instaladas e a simulação com a película Cinza Escuro proporciona uma redução de 5,4% no consumo anual de energia elétrica do sistema de refrigeração, devido ao menor consumo do sistema de refrigeração dimensionado pelo programa. Esta redução passa para 11,8% se comparada à simulação em *autosize* do estado atual.

A tabela 29 a seguir apresenta o consumo referente ao Prédio Direito.

Tabela 29 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas, Prédio Esquerdo.

Consumo Anual de Energia Elétrica		
Simulação	Sistema de Refrigeração [kWh]	Total [kWh]
Máquinas Instaladas	14528,65	67964,65
Autosize Atual	15888,62	69324,61
Película Cinza Claro-Médio	14284,66	67720,66
Película Cinza Médio	13822,54	67258,53
Película Cinza Médio-Escuro	13560,17	66996,17
Película Cinza Escuro	13326,74	66763,34

O Prédio Direito é a edificação com maior média de redução de dimensionamento de potência de refrigeração (figura 30), sendo assim é o que apresenta maior redução no consumo de energia do sistema de refrigeração, 8,3%, comparando com os equipamentos atualmente instalados. Comparando-se a simulação com a película, com a simulação de *autosize* do estado atual, a redução passa para 16,1%.

Através desta análise é possível concluir também que um sistema adequado à demanda térmica de cada ambiente pode consumir menos que o sistema atual, através do uso de películas nos vidros.

7.3 Proposta de Iluminação com LED

A proposta de mudança na potência, bem como no sistema de iluminação foi baseada no trabalho de Pietzch, D.A. (2012), no qual foi simulada uma proposta de iluminação contínua utilizando lâmpadas de LED em comparativo com lâmpadas fluorescentes, tomando como base orientações de potência de iluminação por área dadas pela ASHRAE (2005).

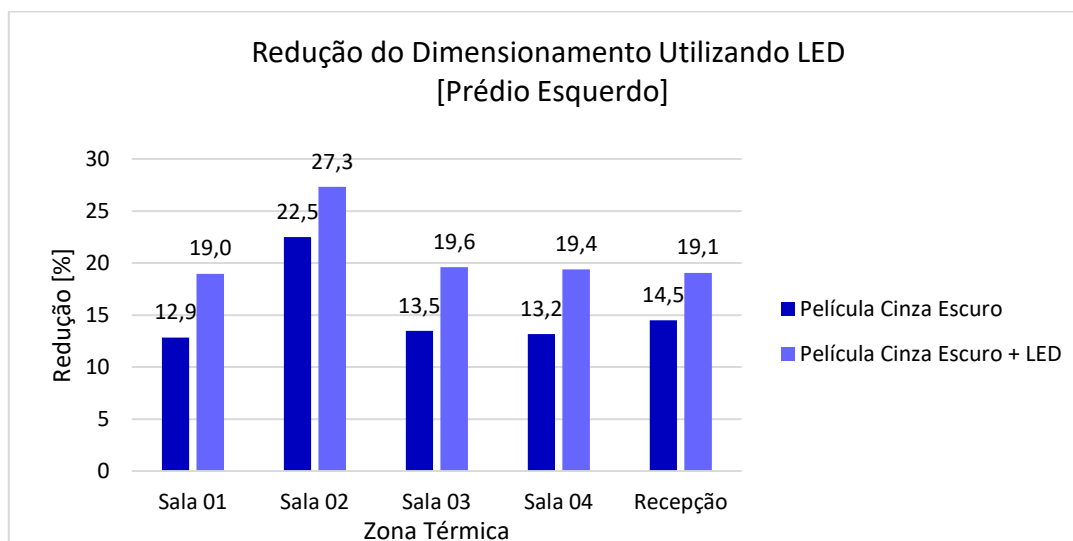
Ao avaliar as edificações do PampaTec, as quais possuem sistema de iluminação por lâmpadas fluorescentes, percebe-se, para todas as edificações, sobra de potência de iluminação em comparação aos 15 W/m² apresentados no trabalho de Pietzch como parâmetro para lâmpadas fluorescentes.

Para este trabalho foi avaliada a substituição das lâmpadas, de fluorescentes para LED, estas últimas com 36% de eficiência luminosa. Utilizando a potência de iluminação por área de 9 W/m² como referenciado por Pietzch.

Os gráficos das figuras 31 a 32 apresentam um comparativo entre as simulações utilizando películas Cinza Escuro nos vidros com iluminação fluorescente, atualmente instalada, e a proposta de iluminação LED. Lembrando que os valores percentuais são considerados tomando como base a simulação das edificações em *autosize* do estado atual, ou seja, sem as melhorias.

A figura 31 apresenta os resultados referentes à redução na potência de refrigeração dimensionada pelo programa para o Prédio Esquerdo.

Figura 31 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Esquerdo.

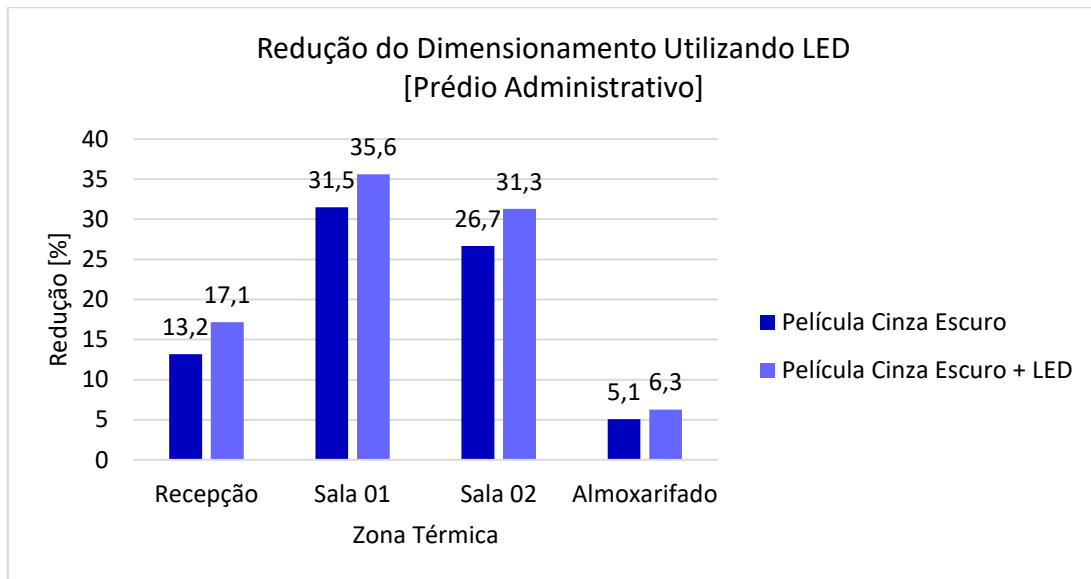


Fonte: Acervo do autor.

No gráfico da figura 31 é possível notar que a mudança da iluminação para LED apresentou uma redução média de aproximadamente 5,6% na demanda de potência de refrigeração, comparado com o caso utilizando iluminação fluorescente.

A figura 32 apresenta os resultados obtidos para o Prédio Administrativo.

Figura 32 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Administrativo.

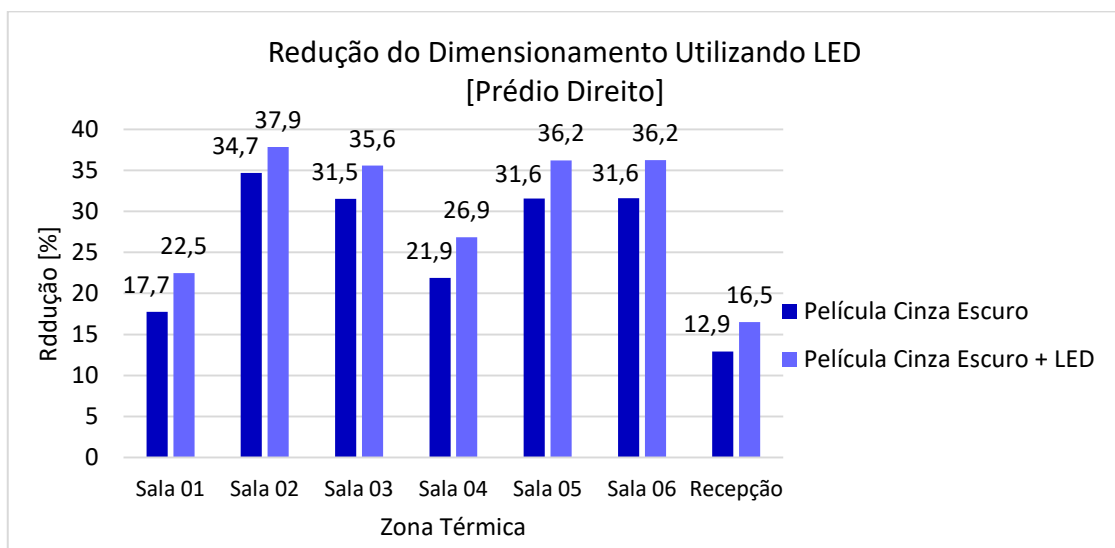


Fonte: Acervo do autor.

Para o Prédio Administrativo a mudança da iluminação para LED apresentou uma redução média de aproximadamente 3,5% na demanda de potência de refrigeração, comparado com o caso utilizando iluminação fluorescente.

A figura 33 apresenta os resultados referentes ao Prédio Direito.

Figura 33 – Redução do dimensionamento utilizando LED, Prédio Direito.



Fonte: Acervo do autor.

O Prédio Direito, assim como as demais edificações, também obteve redução na demanda de potência de refrigeração utilizando a iluminação LED, a redução obtida

foi de 4,3% em média, comparando com a simulação utilizando iluminação fluorescente.

A iluminação LED tem seu maior impacto no consumo de energia, pois possui maior eficiência luminosa, podendo se utilizar um conjunto com menor potência para obter a iluminação desejada.

As tabelas 27 a 29 apresentam um comparativo dos resultados obtidos através das simulações com as máquinas instaladas e as propostas que utilizam as películas de tonalidade Cinza Escuro, com a iluminação fluorescente (atual) e a iluminação LED, ambas em *autosize*. Analisou-se então a influência da iluminação no consumo anual de energia elétrica do sistema de refrigeração e no consumo total de cada edificação.

A tabela 30 apresenta os resultados referentes ao consumo de energia elétrica anual para o Prédio Esquerdo.

Tabela 30 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Esquerdo.

Sistema	Máquinas Instaladas	Película Cinza Escuro	Película Cinza Escuro + LED
Iluminação [kWh]	14950,4	14950,40	5650,20
Refrigeração [kWh]	13513,08	12975,58	11658,57
Total [kWh]	65693,48	65155,98	54538,77
Redução Iluminação [%]	Base	0	62,21
Redução Refrigeração [%]	Base	3,98	13,72
Redução Total [%]	Base	0,82	16,98

Na tabela 27 é possível notar uma redução considerável no consumo de energia elétrica total, aproximadamente 17%, com a utilização de iluminação LED e películas Cinza Escuro, em comparação com o consumo do estado atual. A iluminação LED foi responsável por 16,1% dessa redução.

A tabela 31 apresenta o comparativo dos consumos de energia elétrica para o Prédio Administrativo.

Tabela 31 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Administrativo.

Sistema	Máquinas Instaladas	Película Cinza Escuro	Película Cinza Escuro + LED
Iluminação [kWh]	11913,6	11913,60	5551,65
Refrigeração [kWh]	16889,99	16029,22	15037,54
Total [kWh]	80268,59	79407,81	72054,19
Redução Iluminação [%]	Base	0	53,40
Redução Refrigeração [%]	Base	5,10	10,97
Redução Total [%]	Base	1,07	10,23

Na tabela 28 é possível notar uma redução no consumo de energia elétrica total de aproximadamente 10,2%, com a utilização de iluminação LED e películas Cinza Escuro, em comparação com o estado atual. A iluminação LED foi responsável por 9,1% dessa redução.

A tabela 32 apresenta a comparação de resultados para o Prédio Direito.

Tabela 32 – Consumo de energia elétrica anual utilizando películas mais LED, Prédio Direito.

Sistema	Máquinas Instaladas	Película Cinza Escuro	Película Cinza Escuro + LED
Iluminação [kWh]	14016	14016,00	5642,90
Refrigeração [kWh]	14528,65	13326,74	12048,00
Total [kWh]	67964,65	66763,34	57110,91
Redução Iluminação [%]	Base	0	59,74
Redução Refrigeração [%]	Base	8,27	17,07
Redução Total [%]	Base	1,77	15,97

O Prédio Direito apresentou uma redução no consumo total de energia elétrica de aproximadamente 16%, comparando a proposta utilizando películas Cinza Escuro e iluminação LED com o consumo atual. A iluminação LED foi responsável por 14,2% dessa redução.

Para todas as edificações, houve redução no consumo total de energia elétrica proporcionado pelo sistema de iluminação, bem como pelo menor consumo do sistema de refrigeração. A redução no consumo do sistema de refrigeração ocorre devido à utilização de menor potência de iluminação para as lâmpadas de LED, em comparação com a potência de iluminação fluorescente atualmente instalada. Outro fator que auxilia na redução da demanda do sistema de refrigeração, deste modo reduzindo também o consumo, é que as lâmpadas de LED dissipam menos calor para o ambiente que as lâmpadas fluorescentes.

7.4 Máquinas Selecionadas

A potência de refrigeração necessária para cada ambiente é dimensionada pelo EnergyPlus, ou seja, em *autosize*. O EnergyPlus dimensiona o sistema de refrigeração para que atenda a temperatura de *setpoint* inserida no mesmo, neste caso, 24,5 °C para os dias de verão e 22 °C para os dias de inverno.

Simulou-se primeiramente a potência necessária de refrigeração para a edificação sem instalação de películas ou alteração no sistema de iluminação (legenda: Autosize Atual).

Em seguida simulou-se a edificação adicionando os equipamentos atualmente instalados (legenda: Máquina Instalada), para poder visualizar através dos gráficos quais ambientes e em que momento a potência de refrigeração instalada deixa de atender à potência demandada.

Posteriormente foi simulada a proposta de utilização de películas Cinza Escuro nos vidros com a iluminação atual (legenda: Película Cinza Escuro), finalizando com a proposta de utilização de películas Cinza Escuro nos vidros e iluminação LED (legenda: Película Cinza Escuro + LED), ambas as propostas com o dimensionamento da potência de refrigeração sendo dimensionada pelo software.

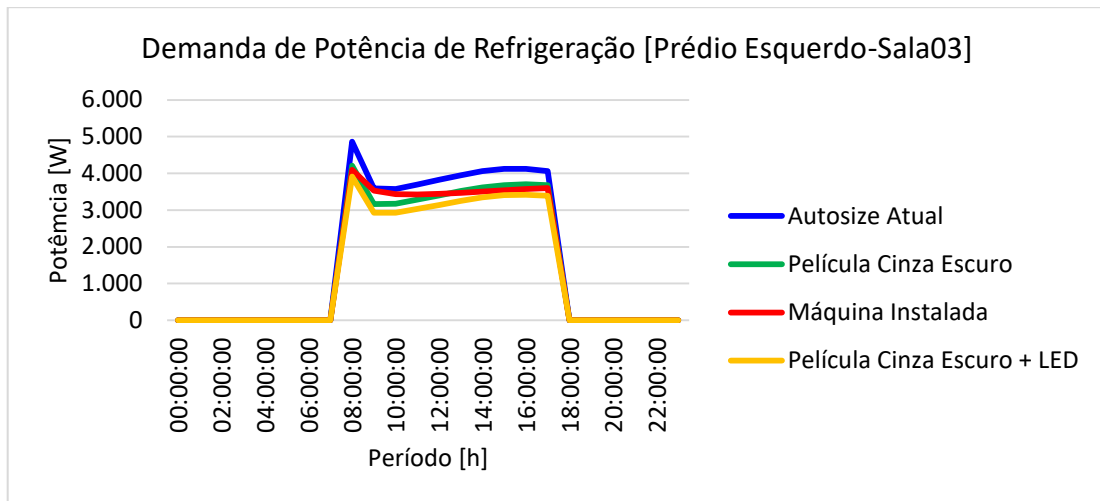
Foi analisada a potência de refrigeração necessária para cada zona térmica e foram selecionadas máquinas que atendam a demanda de cada ambiente e que sejam comercializadas atualmente.

Os gráficos das figuras 34 a 36 apresentam a demanda de potência de refrigeração para a zona, de cada edificação, que teve maior diferença entre a potência instalada e a dimensionada em *autosize* do estado atual, conforme resultados mostrados no tópico 7.1.

Os gráficos apresentam as potências de refrigeração para cada uma das simulações mencionadas neste tópico e foram gerados para o dia de projeto de maior demanda do sistema de refrigeração. Os gráficos das demais zonas estão no apêndice A.

A figura 34 apresenta os resultados de potência de refrigeração para a Sala03 do Prédio Esquerdo referentes ao dia 22 de dezembro, dia de projeto de verão na condição de temperatura de bulbo úmido.

Figura 34 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Esquerdo - Sala03.

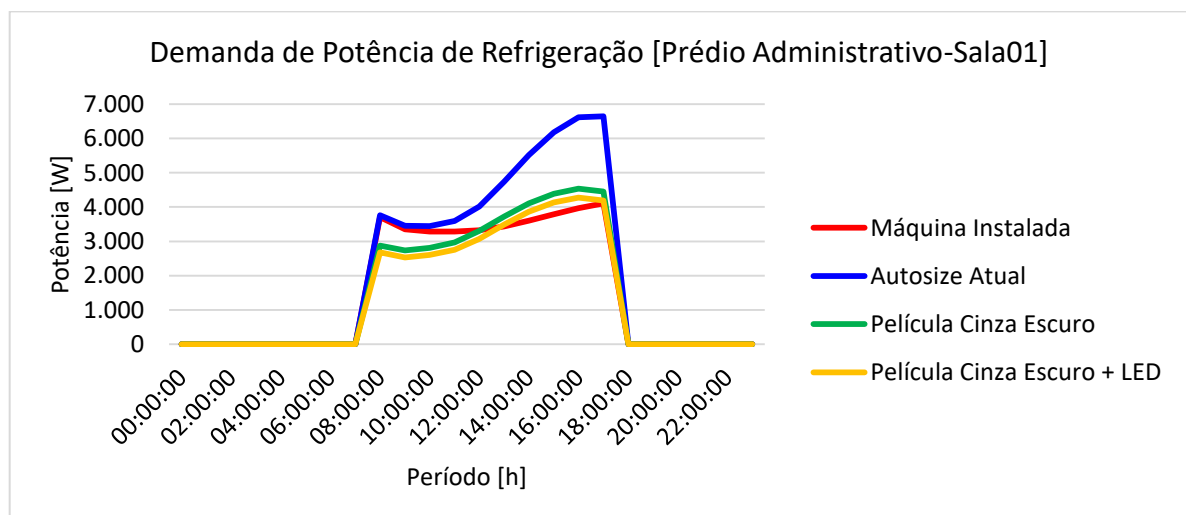


Fonte: Acervo do autor.

A figura 34 demonstra que a potência atualmente instalada é inferior à potência dimensionada pelo software para a edificação no estado atual (Autosize Atual). Comprova-se através do gráfico, que as propostas sugeridas resultaram numa redução de 19,6% na potência de refrigeração dimensionada pelo software para o ambiente, como demonstrado na figura 31.

A figura 35 apresenta os resultados de potência de refrigeração para a Sala01 do Prédio Administrativo calculadas para o dia de projeto de maior demanda do sistema de refrigeração, o qual foi o dia 21 de dezembro: dia de projeto de verão na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 35 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Administrativo - Sala01.

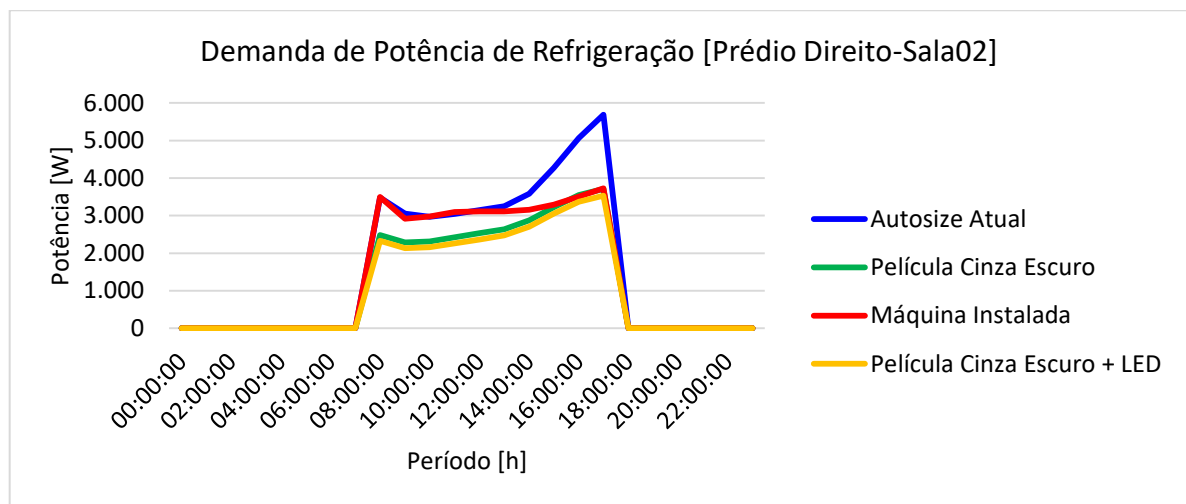


Fonte: Acervo do autor.

A análise da figura 34 pode ser estendida para a figura 35, onde a potência de refrigeração instalada está abaixo da dimensionada pelo software para a edificação sem alteração, do mesmo modo, as propostas sugeridas reduzem a potência dimensionada pelo software em 35,6% como apresentado na figura 32.

Para o Prédio Direito, a Sala02 apresentou maior diferença entre a máquina instalada e o dimensionado pelo software no estado atual. O dia de projeto de maior demanda do sistema de refrigeração foi o dia 21 de dezembro, dia de projeto de verão na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 36 – Demanda de potência de refrigeração, Prédio Direito - Sala02.



Fonte: Acervo do autor.

Para a Sala02 a redução obtida no dimensionamento da potência de refrigeração com as propostas foi de 37,9%, como ilustrado na figura 33.

Através destas análises é possível notar como a utilização de películas reduz a potência demandada por cada ambiente, devido às suas propriedades óticas que bloqueiam parte da radiação de onda longa, por conta de sua porcentagem de opacidade.

O passo seguinte foi tabelar os valores das potências de refrigeração dimensionadas pelo EnergyPlus, para que cada ambiente mantenha a temperatura em 24,5 °C durante o período de ocupação.

Os valores de potência demandada por cada zona e potência das máquinas selecionadas, em Watts e em Btu/h, e o respectivo dia de projeto são apresentadas nas tabelas 33 a 35.

A tabela 33 apresenta os dados referentes ao Prédio Esquerdo.

Tabela 33 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Esquerdo.

Zona Térmica	Dia de Projeto			Demanda de Potência [W]	Próximo Step de Máquina [W]	Demanda de Potência [Btu/h]	Próximo Step de Máquina [Btu/h]
	Dia/Mês	Horário de Pico	Condição de Temperatura				
Sala 01	22/dez	8:00 h	T_{bu}	4.962	5.274	16.933	18.000
Sala 02	21/dez	17:00 h	T_{bs}	7.483	8.790	25.539	30.000
Sala 03	22/dez	8:00 h	T_{bu}	3.909	5.274	13.341	18.000
Sala 04	22/dez	8:00 h	T_{bu}	3.900	5.274	13.312	18.000
Recepção	22/dez	8:00 h	T_{bu}	3.906	5.274	13.330	18.000

A tabela 34 apresenta os valores de potência dimensionados pelo software e as potências dos equipamentos selecionados, para o Prédio Administrativo.

Tabela 34 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Administrativo.

Zona Térmica	Dia de Projeto			Demanda de Potência [W]	Próximo Step de Máquina [W]	Demanda de Potência [Btu/h]	Próximo Step de Máquina [Btu/h]
	Dia/Mês	Horário de Pico	Condição de Temperatura				
Sala 01	21/dez	17:00 h	T_{bs}	4.277	5.274	14.597	18.000
Sala 02	22/dez	8:00 h	T_{bu}	4.382	5.274	14.957	18.000
Almoxarifado	22/dez	8:00 h	T_{bu}	6.144	6.446	20.969	22.000
Recepção	22/dez	8:00 h	T_{bu}	15.040	15.236	51.330	22.000 + 30.000

Para a Recepção do Prédio Administrativo foi necessária a seleção de duas máquinas, devido à sua demanda de potência de refrigeração não poder ser atendida apenas por uma máquina.

A tabela 35 apresenta os valores de potência dimensionados pelo software e as potências dos equipamentos selecionados, para o Prédio Direito.

Tabela 35 – Potência de refrigeração selecionada por zona, Prédio Direito.

Zona Térmica	Dia de Projeto			Demanda de Potência [W]	Próximo Step de Máquina [W]	Demanda de Potência [Btu/h]	Próximo Step de Máquina [Btu/h]
	Dia/Mês	Horário de Pico	Condição de Temperatura				
Sala 01	21/dez	17:00 h	T_{bs}	2.857	3.516	9.751	12.000
Sala 02	21/dez	17:00 h	T_{bs}	3.533	5.274	12.058	18.000
Sala 03	21/dez	17:00 h	T_{bs}	3.664	5.274	12.505	18.000
Sala 04	22/dez	8:00 h	T_{bu}	3.848	5.274	13.135	18.000
Sala 05	22/dez	8:00 h	T_{bu}	4.809	5.274	16.413	18.000
Sala 06	22/dez	8:00 h	T_{bu}	4.801	5.274	16.386	18.000
Recepção	22/jan	8:00 h	T_{bu}	4.509	5.274	15.390	18.000

A tabela 36 apresenta as máquinas selecionadas e suas informações, vazão, potência ciclo e EER.

Tabela 36 – Especificações das máquinas selecionadas.

Potência [W]	Potência [Btu]	Fabricante	Marca	Máquina		Ciclo	EER	Vazão [m³/h]
				Interna	Externa			
3.516	12.000	SPRINGER CARRIER	MIDEA	42PRQA12M5	38PRQA12M5	quente/frio	3,78	560
5.274	18.000	LG	LG	ASNW182CRW0	ASUW182CRW0	quente/frio	3,53	1.170
6.446	22.000	LG	LG	USNW242CSZ2	USUW242CSZ2	quente/frio	3,42	1.170
8.790	30.000	ELECTROLUX	ELECTROLUX	TI30R	TE30R	quente/frio	3,24	1.450

7.5 Condições de Temperatura e Umidade para as Zonas Térmicas

Neste tópico serão apresentadas as condições de temperatura média do ar da zona (7.5.1), temperatura operativa (7.5.2) e umidade relativa do ar da zona (7.5.3) referentes às zonas térmicas apresentadas no tópico 7.4.

7.5.1 Temperatura Média do Ar da Zona

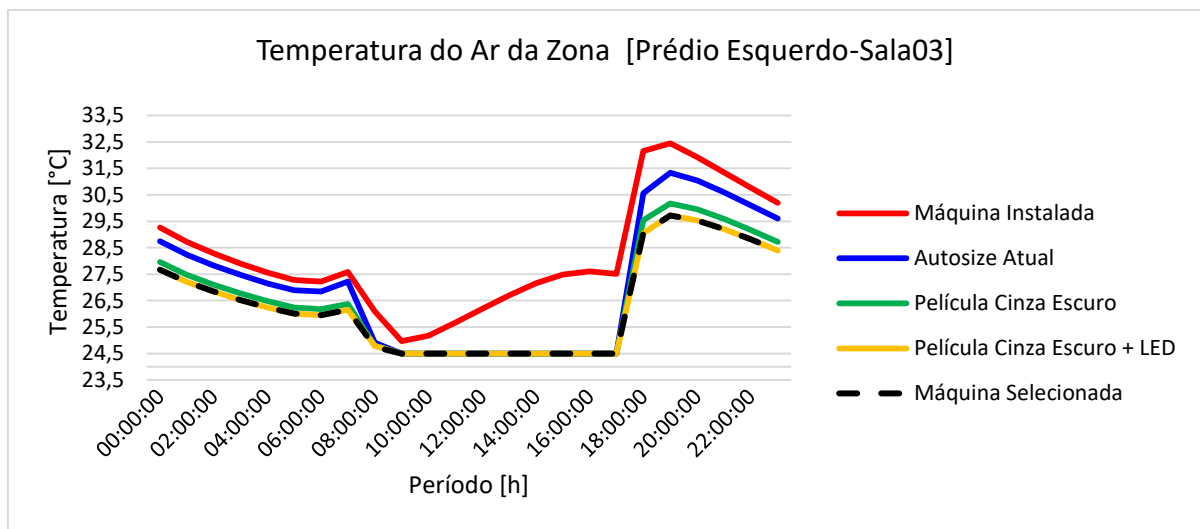
A temperatura média do ar da zona consiste na temperatura interna do ambiente climatizado. Visando conforto térmico, este parâmetro foi inserido no programa e fixado em 24,5 °C (temperatura do *setpoint* do condicionador de ar), pois consiste na

temperatura que busca-se obter durante todo o período de ocupação de cada zona térmica para o verão.

As figuras 33 a 35 apresentam a temperatura média do ar da zona ao longo do dia de projeto de maior demanda de potência de refrigeração, referentes às salas apresentadas no tópico 7.4. Como a as salas apresentadas foram as que tiveram maior diferença entre o dimensionamento do EnergyPlus e a potência de refrigeração instalada; estas também são as salas onde ocorrem maior diferença entre a temperatura média do ar da zona proporcionada pelo sistema atualmente instalado e a temperatura de *setpoint* do condicionador de ar.

A figura 37 apresenta a variação da temperatura média horária do ar da zona para o dia de projeto de verão: 22 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo úmido.

Figura 37 – Temperatura do ar da zona, Prédio Esquerdo - Sala03.

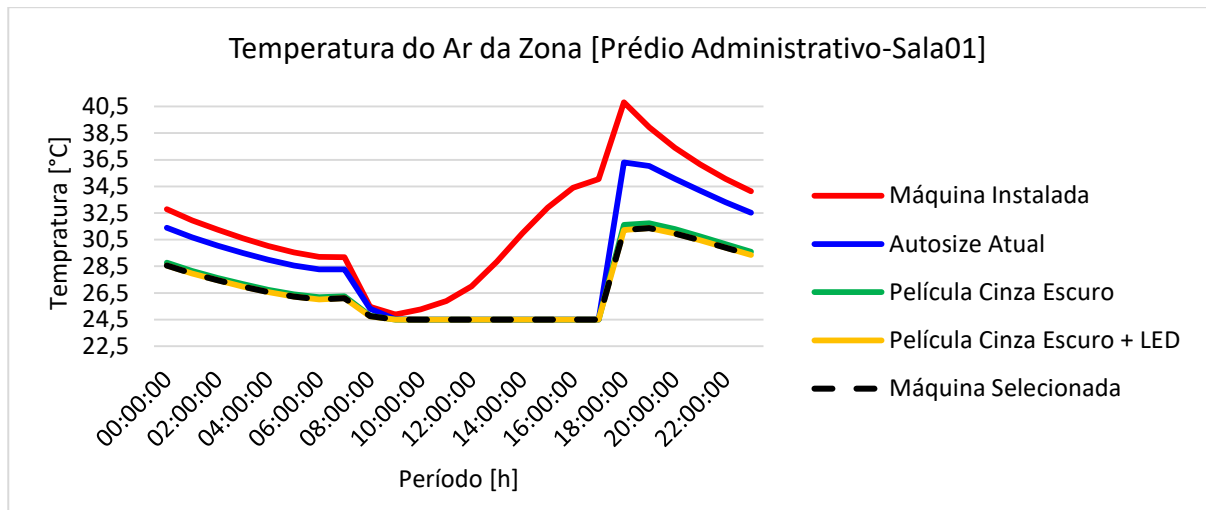


Fonte: Acevo do autor.

Pode-se notar que, com o sistema atualmente instalado, a condição de temperatura média do ar para obtenção de conforto térmico não é atingida, em nenhum momento durante todo o período de ocupação da Sala 03.

A figura 38 apresenta a configuração de temperatura para o dia de projeto de verão: 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 38 – Temperatura do ar da zona, Prédio Administrativo - Sala01.

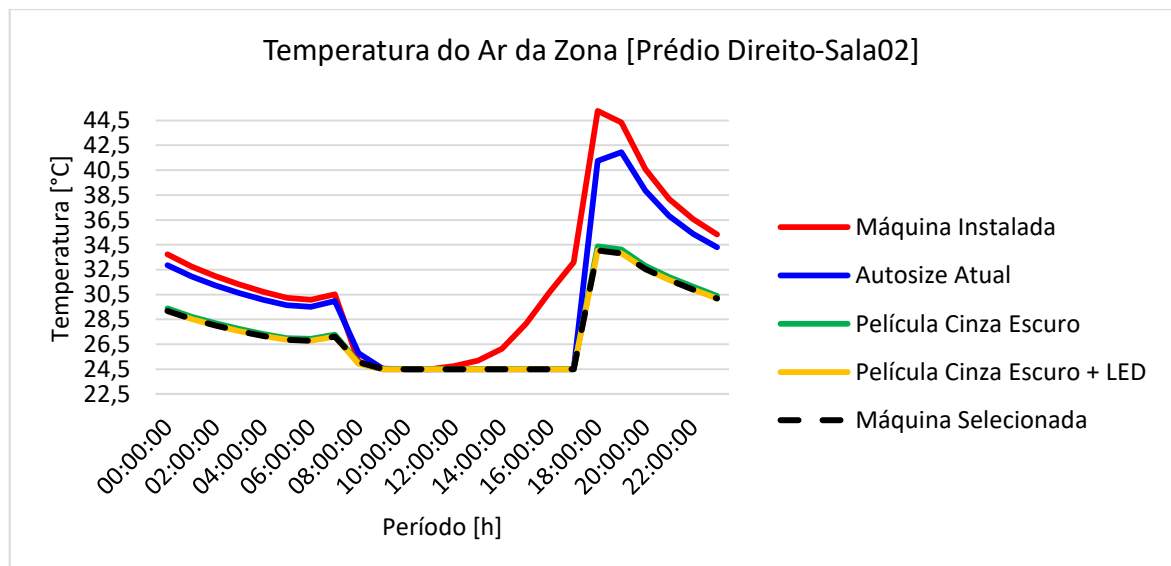


Fonte: Acervo do autor.

É possível notar que, para a Sala01 o sistema atualmente instalado não consegue manter o ambiente na temperatura determinada para conforto térmico.

Por fim a figura 39 apresenta os resultados de temperatura média do ar da zona para o dia 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 39 – Temperatura do ar da zona, Prédio Direito - Sala02.



Fonte: Acervo do autor.

Do mesmo modo que para as salas anteriormente analisadas, o sistema atualmente instalado nesta sala não consegue manter a temperatura em 24,5 °C, temperatura do *setpoint*.

Para cada zona apresentada a grande diferença deve-se ao dimensionamento incorreto do sistema de refrigeração, o que levou a cada um dos ambientes não manter a temperatura de 24,5 °C. Os gráficos referentes a todas as demais zonas encontram-se no apêndice B.

Uma conclusão geral sobre as simulações, referentes ao parâmetro avaliado neste tópico foi que, as duas propostas que envolvem utilização de películas nos vidros fizeram a temperatura de *setpoint* ser atingida mais rapidamente, além de fazer com que a edificação tenha uma menor temperatura mesmo fora do período de ocupação, o qual as máquinas permanecem desligadas.

Esta análise também conclui que as máquinas selecionadas atendem à demanda térmica das zonas, mantendo a temperatura de conforto durante todo o período de ocupação.

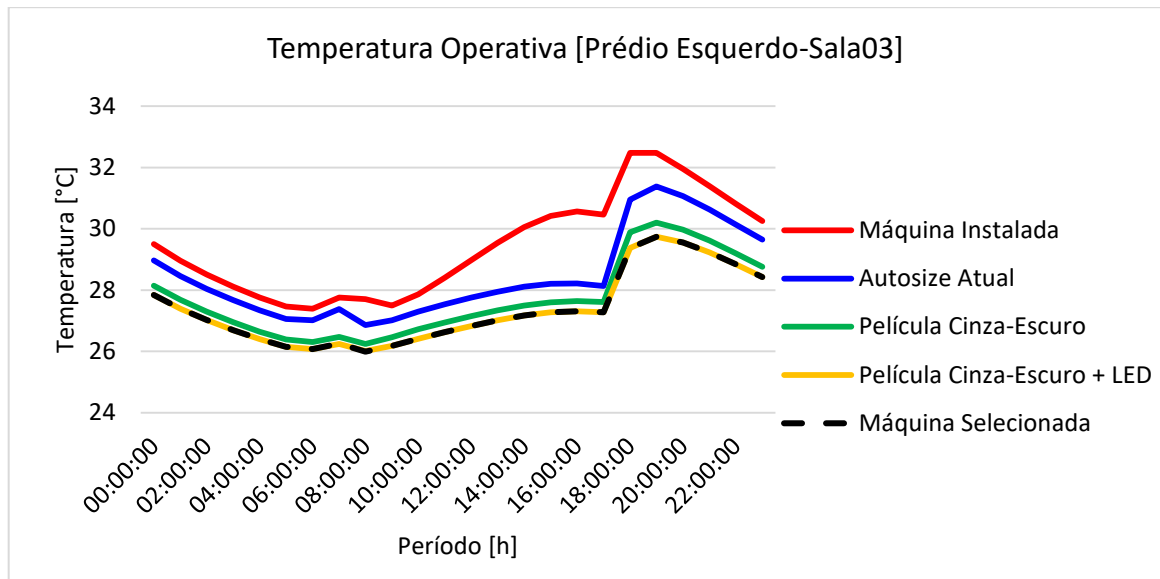
7.5.2 Temperatura Operativa

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos para a temperatura operativa, onde as análises são executadas comparando-se os resultados com a faixa de temperatura operativa para conforto térmico, 23,5 a 27 [°C], descrito pela ASHRAE na figura 1.

As figuras 40 a 42 apresentam os resultados para temperatura operativa obtidas para os mesmos ambientes analisados no tópico anterior. Do mesmo modo os gráficos de temperatura operativa para as demais zonas encontram-se no apêndice C.

A figura 40 apresenta os valores de temperatura operativa para a Sala03 do Prédio Esquerdo, para o dia de projeto de verão: 22 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo úmido.

Figura 40 – Temperatura operativa, Prédio Esquerdo - Sala03.

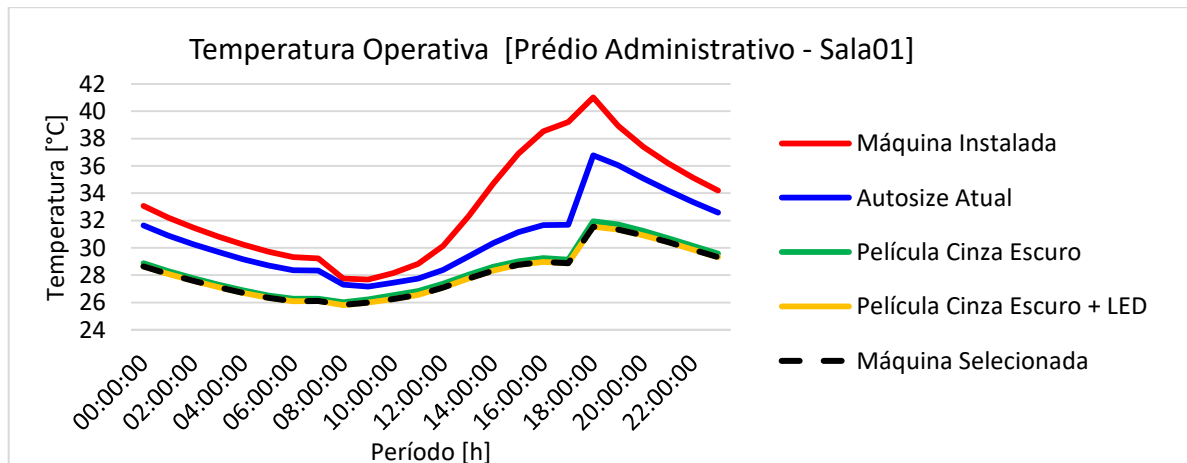


Fonte: Acervo do autor.

A análise do gráfico da Sala03 demonstra que mesmo não mantendo o ambiente dentro da faixa de temperatura operativa descrita pela ASHRAE (figura 1), a temperatura operativa teve uma redução considerável comparando as simulações de estado atual (Autosize Atual e Máquina Instalada) em comparação com as propostas que utilizam películas nos vidros.

A figura 41 apresenta a temperatura operativa para a Sala01 do Prédio Administrativo, para o dia de projeto de verão: 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 41 – Temperatura operativa, Prédio Administrativo - Sala01.

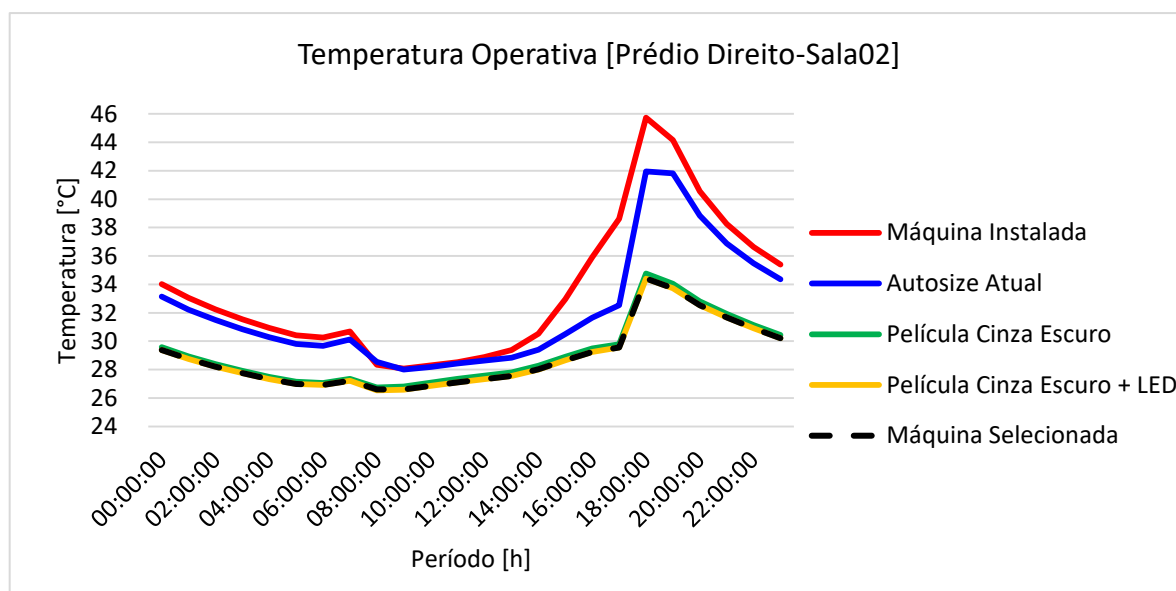


Fonte: Acervo do autor.

Através da figura 41 pode-se notar que, para a Sala01 do Prédio Administrativo, também houve redução na temperatura operativa com as propostas que utilizam películas nos vidros. No entanto para este ambiente a temperatura operativa não mantém-se, durante todo período de ocupação, dentro da faixa de conforto térmico descrito pela ASHRAE (figura 1).

A figura 42 apresenta a temperatura operativa para a Sala02 do Prédio Direito para o dia de projeto de verão: 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 42 – Temperatura operativa, Prédio Direito - Sala02.



Fonte: Acervo do autor.

Observa-se no gráfico da figura 42 que para a Sala02 do Prédio Direito, como para as demais zonas apresentadas, que a temperatura operativa teve grande redução com as propostas que utilizam película nos vidros. No entanto a Sala02 continua fora do intervalo de conforto.

Por fim, ao analisar estas zonas térmicas, nota-se que para os três prédios a temperatura operativa tem uma redução considerável através das propostas. Esta redução, observada em todas as zonas térmicas, é devida ao fato de que com películas instaladas parte da radiação térmica não adentra no ambiente, assim ela não é absorvida pelas superfícies, o que reduz a temperatura média radiante da zona.

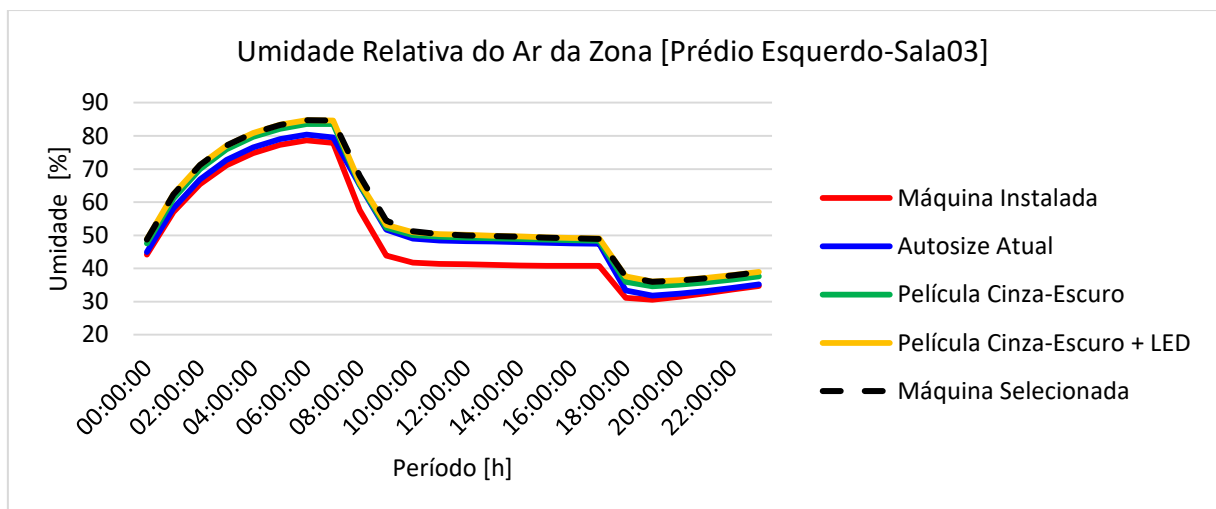
7.5.3 Umidade Relativa do Ar da Zona

Neste tópico serão avaliados os resultados para a umidade relativa do ar das zonas apresentadas no decorrer deste trabalho: Sala03 do Prédio Esquerdo, Sala01 do Prédio Administrativo e Sala02 do Prédio Esquerdo, para seus respectivos dias de projeto de verão.

Segundo o gráfico apresentado na figura 1, faixa de umidade relativa para conforto térmico varia entre 30 e 60%, sendo assim, esta será a faixa de comparação dos resultados obtidos.

A figura 43 apresenta os gráficos com os parâmetros de umidade para a Sala03 do Prédio Esquerdo referentes ao dia de projeto de verão: 22 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo úmido.

Figura 43 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Esquerdo - Sala03.



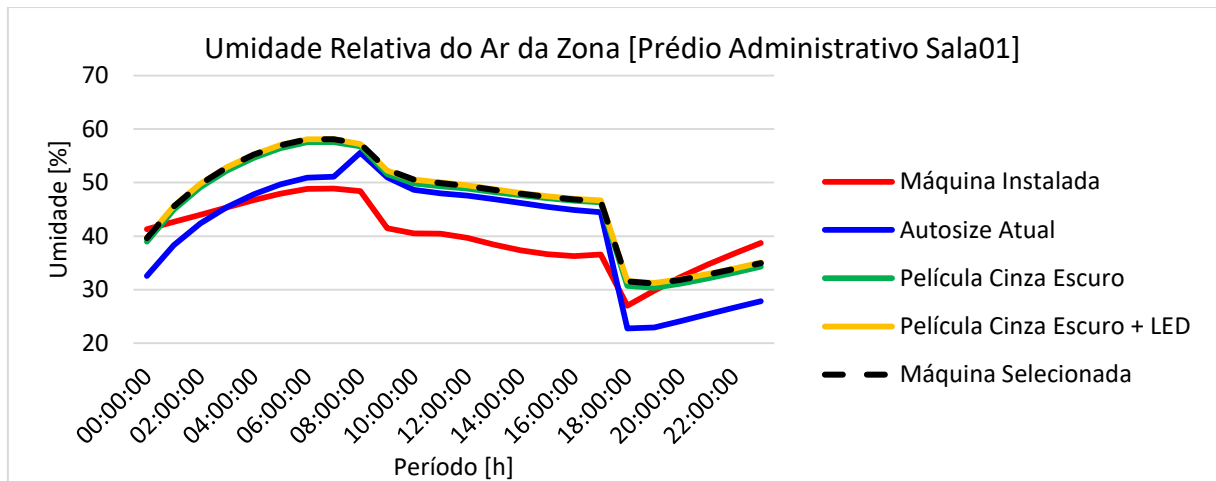
Fonte: Acervo do autor.

Percebe-se um aumento na umidade relativa da Sala03, devido ao fato de a temperatura média do ar da zona e a temperatura operativa da sala atingem valores mais baixos com a simulação em comparação com as máquinas instaladas.

A temperatura média do ar da zona atinge valores mais elevados com as máquinas instaladas, deste modo, permitindo que uma menor fração de vapor d'água esteja no ar.

A figura 44 apresentam os gráficos com os parâmetros de umidade para a Sala01 do Prédio Administrativo referentes ao dia de projeto de verão: 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 44 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Administrativo - Sala01.

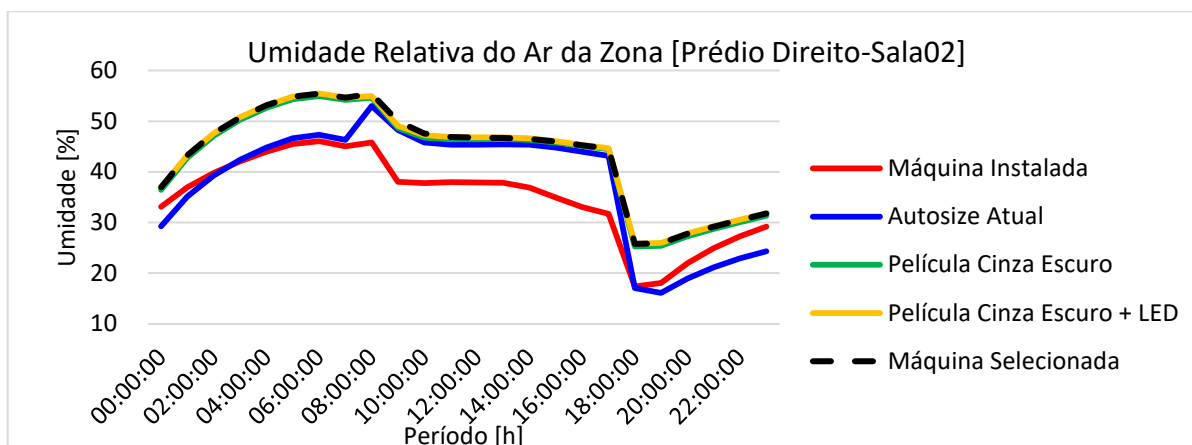


Fonte: Acervo do autor.

Devido ao fato de a temperatura média do ar da zona e a temperatura operativa da sala atingem valores mais baixos, para as simulações das propostas, em comparação com a simulação com as máquinas instaladas, a umidade relativa atinge valores mais elevados para a Sala01 do Prédio Administrativo. A temperatura média do ar e a temperatura operativa mais baixas resultam em uma maior umidade relativa.

Na figura 45 são ilustrados os valores de umidade referentes à Sala02 do Prédio Direito, referente ao dia de projeto de verão: 21 de dezembro, na condição de temperatura de bulbo seco.

Figura 45 – Umidade relativa do ar da zona, Prédio Direito - Sala02.



Fonte: Acervo do autor.

Para a Sala02 do Prédio Direito observa-se um aumento na umidade relativa do ar com as propostas de utilização de películas, em comparação com a simulação da máquina instalada atualmente. Este aumento deve-se à redução na temperatura média do ar da zona e na temperatura operativa.

Todas as salas mostraram um aumento na umidade do ar, isto auxilia no conforto térmico de forma que o ar não fique demasiadamente seco. Esta melhora é devida ao fato de que com o sistema proposto a temperatura do ar da zona atinge, durante todo o período de ocupação, o valor pré-determinado de 24,5 °C.

Para as propostas que utilizam películas nos vidros, a melhora é ainda mais notável, pois a temperatura operativa diminui de forma considerável, reflexo da redução da temperatura das superfícies que delimitam a zona. Nota-se também que com as máquinas seleccionadas não houve alteração na umidade relativa das zonas térmicas, mantendo-a dentro da faixa de 30 a 60%. Os gráficos referentes às demais zonas térmicas encontram-se no apêndice D.

7.6 Consumo de Energia Mensal

Neste tópico serão apresentados os gráficos referentes ao consumo de energia elétrica mensal para cada edificação, fazendo um comparativo entre as edificações no estado atual e as edificações com as mudanças propostas.

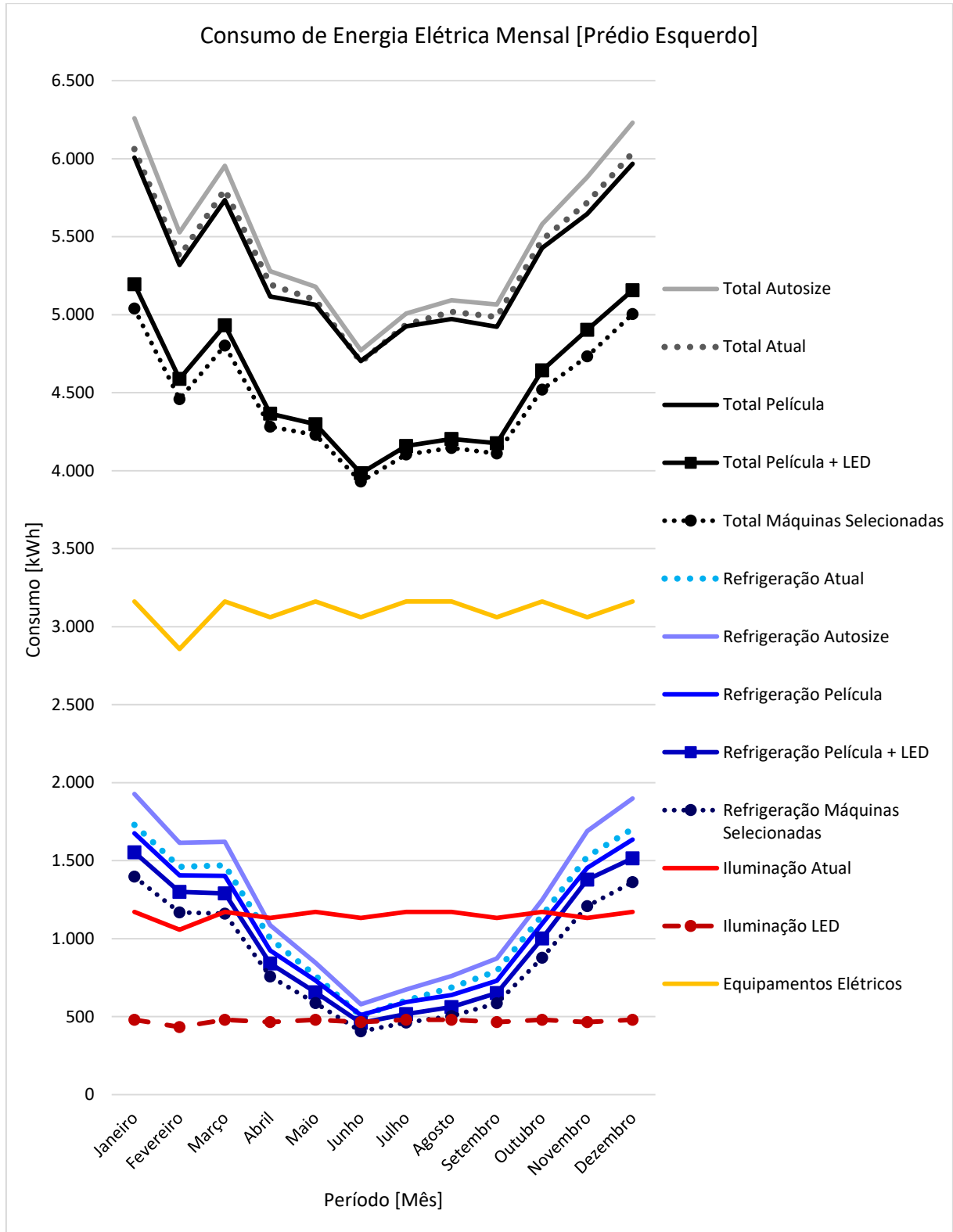
As figuras 46 a 48 apresentam um comparativo dos consumos de energia mensal total e de cada parcela que o compõe, para cada simulação.

As simulações, bem como as legendas seguiram a seguinte sequência:

- Simulação Autosize Atual: Onde o EnergyPlus dimensiona a potência de refrigeração necessária para cada ambiente manter a temperatura de 24,5 °C durante o período de ocupação. Simulação Estado Atual: Efetuada com a inserção das máquinas atualmente instaladas em cada ambiente. O “Total Atual” é compreendido pelo somatório das parcelas: “Refrigeração Atual”, “Iluminação Atual” e “Equipamentos Elétricos”.
- Simulação Película: Efetuada em *autosize*, com a utilização das películas de tonalidade Cinza Escuro nos vidros. O “Total Película” representa o consumo total da edificação nesta configuração, o qual é o somatório da “Refrigeração Película”, “Iluminação Atual” e “Equipamentos Elétricos”.
- Simulação Película + LED: Assim como a Simulação Película foi simulada em *autosize* com as películas Cinza Escuro, no entanto utilizando as lâmpadas de LED ao invés das lampas fluorescentes (Iluminação Atual). O “Total Película + LED” representa o consumo de energia da edificação compreendido pela soma das parcelas: “Refrigeração Película + LED”, “Iluminação LED” e “Equipamentos Elétricos”.
- Simulação Máquinas Seleccionadas: Efetuada inserindo-se os parâmetros das máquinas seleccionadas para cada ambiente, juntamente com utilização da película Cinza Escuro nos vidros e iluminação LED. O “Total Máquinas Seleccionadas” é referente ao somatório dos consumos das parcelas: “Refrigeração Máquinas Seleccionadas”, “Iluminação LED” e “Equipamentos Elétricos”.

A figura 46 apresenta o gráfico dos consumos mensal de energia elétrica para o Prédio Esquerdo.

Figura 46 – Consumo de energia mensal, Prédio Esquerdo.



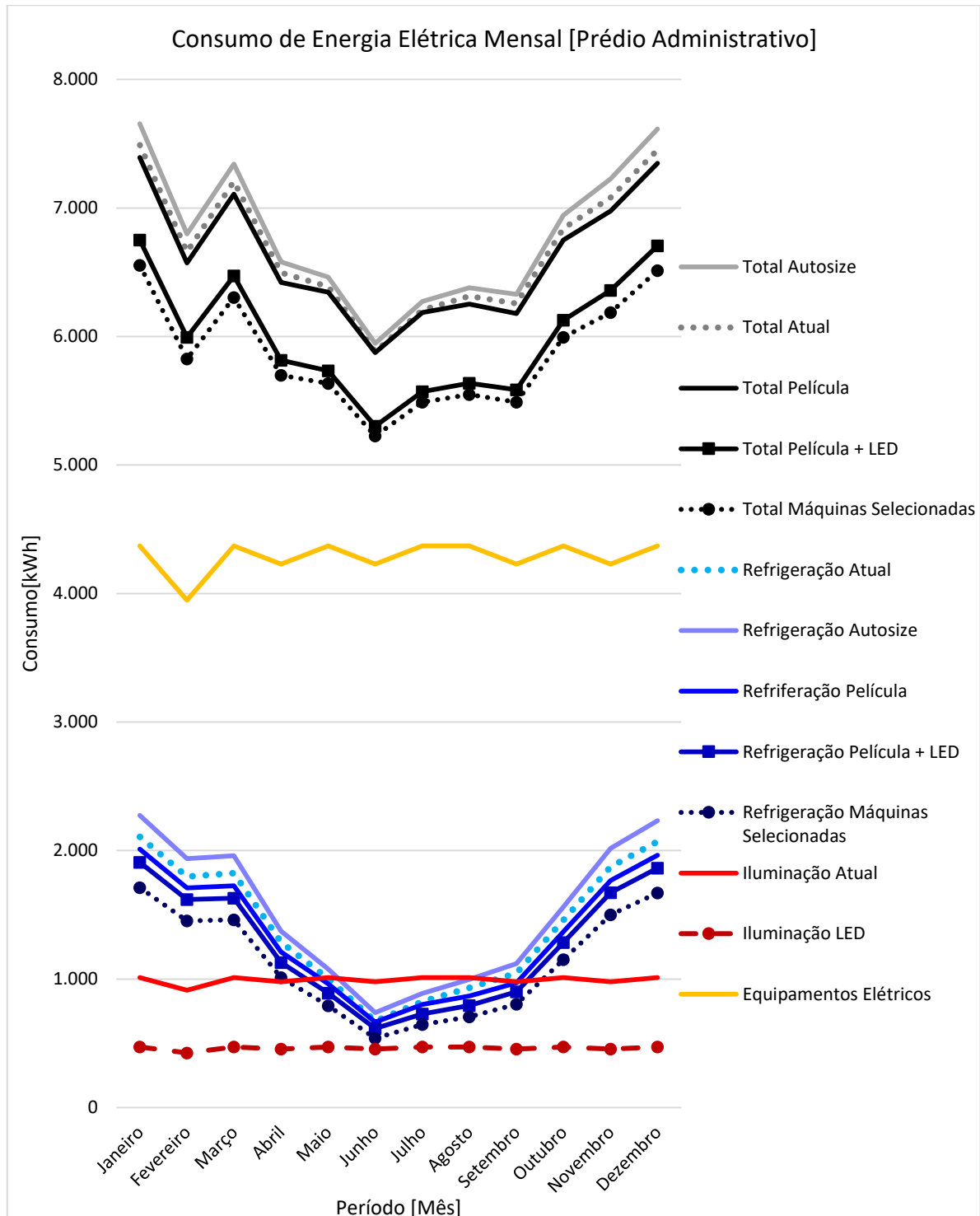
Fonte: Acervo do autor.

O Prédio Esquerdo através das propostas e com as máquinas seleccionadas apresentou uma redução média de 22,3% no consumo mensal de energia do sistema

de refrigeração e de 17,1% no consumo total anual da edificação, em comparativo com o estado atual.

Do mesmo modo a figura 47 apresenta o gráfico dos consumos para o Prédio Administrativo

Figura 47 – Consumo de energia mensal, Prédio Administrativo.

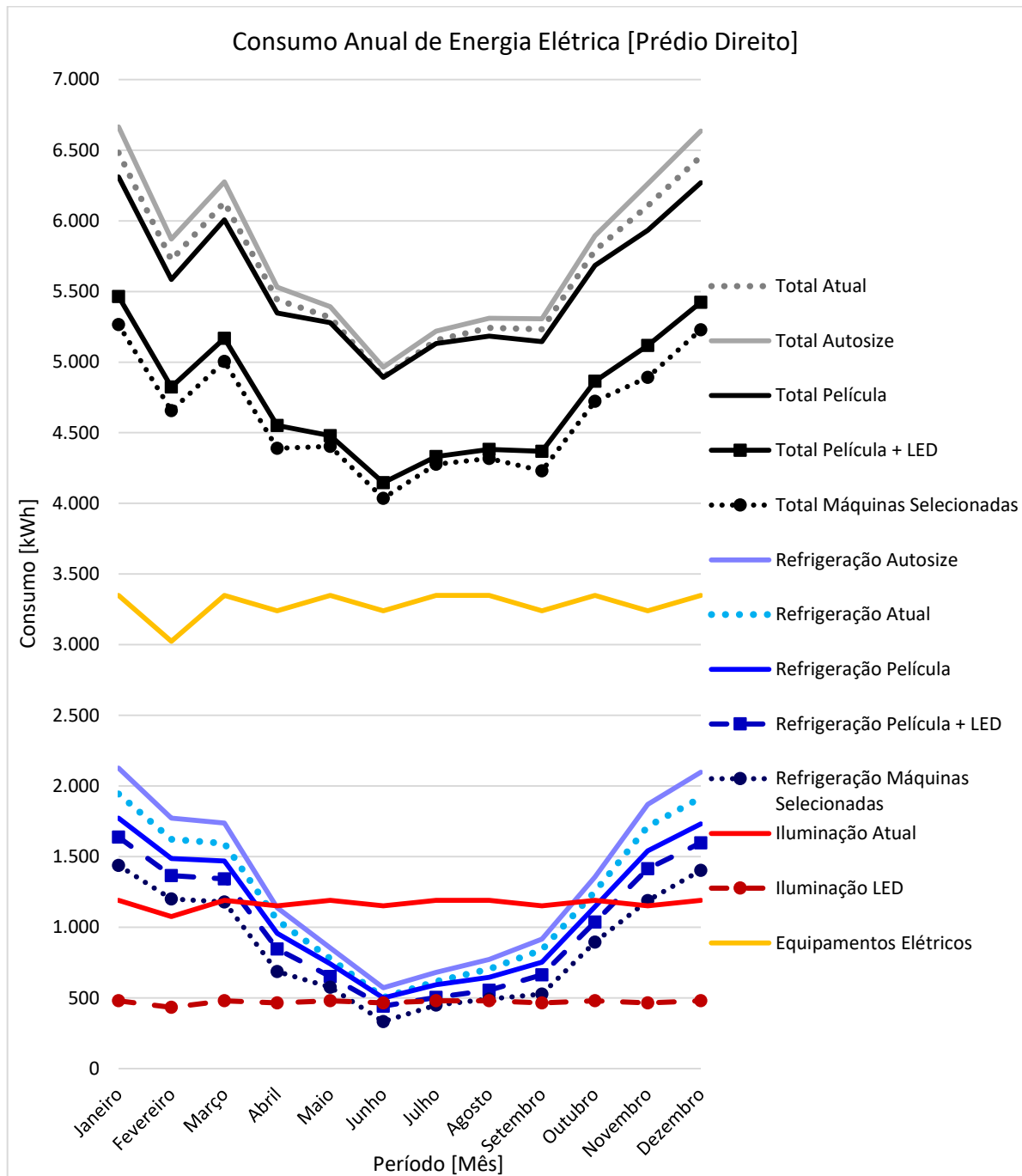


Fonte: Acervo do autor.

O Prédio Administrativo apresentou uma redução média de 20,8% no consumo mensal de energia elétrica do sistema de refrigeração e 12,2% no consumo mensal total, comparando o estado atual com a simulação utilizando as propostas e as máquinas seleccionadas.

Por fim a figura 48 apresenta o gráfico dos consumos para o Prédio Direito.

Figura 48 – Consumo de energia mensal, Prédio Direito.



Fonte: Acervo do autor.

O Prédio Direito, através das máquinas selecionadas e das propostas de mudanças, obteve uma redução de 29,5% no consumo de energia elétrica do sistema de refrigeração e 18,4% no consumo total.

Através dos gráficos torna-se mais clara a influência das películas e da utilização das lâmpadas de LED, onde o consumo do sistema de refrigeração tem uma redução considerável, reflexo da redução da demanda de potência de refrigeração dos ambientes que constituem cada edificação.

A proposta de utilização de películas representa a maior influência na redução do consumo do sistema de refrigeração, comparando-se com o caso em *autosize* do estado atual, devido as grandes fachadas envidraçadas das edificações, pois com elas a radiação térmica não adentra no ambiente, reduzindo a temperatura interna, fazendo com que o sistema de climatização instalado demande menos energia, pois necessita remover uma diferença de temperatura menor para atingir os 24,5 °C nos dias de verão.

Para os dias de inverno, o consumo das simulações se aproxima, devido ao fato de que para o inverno as películas também reduzem a taxa de radiação que adentra no ambiente, mas devido a radiação solar ser menor no inverno, esta influência não é tão expressiva, a ponto de fazer o consumo do sistema de refrigeração disparar para atingir a temperatura de 22 °C.

A proposta de utilização da iluminação LED resulta em redução no consumo do sistema de refrigeração, pois as lâmpadas LED tem uma menor fração radiante, emitindo menos calor por Watt de potência instalada, Além disto, por possuir maior fração luminosa, permite a utilização de menor potência para obter a iluminação desejada. É através destes dois fatores que o consumo total das edificações tem maior redução com a utilização do sistema de iluminação LED.

A proposta das máquinas selecionadas resulta em uma redução no consumo do sistema de refrigeração pois as máquinas selecionadas possuem um EER maior que o EER padrão utilizado pelo EnergyPlus.

Por fim a proposta de utilização das máquinas selecionadas juntamente com a aplicação das películas nos vidros e utilização de lâmpadas de LED resulta em um menor consumo médio mensal de energia elétrica, comparado com o estado atual, além de manter a temperatura média do ar das zonas e a umidade relativa do ar das zonas dentro da faixa de conforto térmico como apresentado nos tópicos 7.5.1 e 7.5.3.

8 CONCLUSÕES

No presente estudo, a análise do desempenho termoenergético das edificações foi realizada com a utilização de dias de projeto e arquivo climático para dimensionar as potências de refrigeração para cada ambiente e os consumos de energia elétrica anuais e mensais das edificações.

Para as simulações com a proposta das máquinas selecionadas, usou-se dos dimensionamentos de potência de refrigeração obtidos nas simulações com utilização das películas Cinza Escuro nos vidros e iluminação LED. Deste modo inseriram-se no EnergyPlus os parâmetros das máquinas selecionadas para avaliar o consumo e os parâmetros de conforto: temperatura média do ar da zona, temperatura operativa e umidade relativa do ar.

As simulações com as películas de tonalidade Cinza Escuro, devido à sua baixa transmitância solar na direção normal (T_s), proporcionou uma redução na demanda de potência de refrigeração, em média, de 15,3% para o Prédio Esquerdo, 19,1% para o Prédio Administrativo e 29% para o Prédio Direito, em comparação com a simulação *autosize* do estado atual. Através destas simulações obteve-se também uma redução no consumo de energia elétrica anual do sistema de refrigeração de 13,6% para o Prédio Esquerdo, 11,8% para o Prédio Administrativo e de 16,1% para o Prédio Direito.

Já a utilização de lâmpadas de LED juntamente com a utilização das películas Cinza Escuro, resultou em uma redução na demanda de potência de refrigeração de 5,6% para o Prédio Esquerdo, 3,5% para o Prédio Administrativo e 4,3% para o Prédio Direito, comparando com a simulação utilizando apenas as películas Cinza Escuro. Esta simulação resultou ainda em uma redução no consumo anual de energia elétrica do sistema de iluminação de 62,2% para o Prédio Esquerdo, 53,4% para o Prédio Administrativo e 59,7% para o Prédio Direito,

A simulação com as propostas de melhorias juntamente com máquinas selecionadas apresentou redução no consumo de energia elétrica anual, em comparação com a simulação em *autosize* que utiliza película Cinza Escuro nos vidros e iluminação LED, pois as mesmas possuem EER maior que o padrão utilizado no *autosize* pelo EnergyPlus. A redução obtida foi de de 2,2% para o Prédio Esquerdo e para o Prédio Administrativo e 2,5% para o Prédio Direito.

Pode-se concluir que a proposta de mudança das máquinas, instalação de películas nos vidros e mudança do sistema de iluminação, além de manter a temperatura média do ar das zonas em 24,5 °C, propicia uma redução considerável no consumo de energia elétrica. Observou-se uma redução no consumo total anual médio de energia elétrica de 17,1% para o Prédio Esquerdo, 12,2% para o Prédio Administrativo e 29,5% para o Prédio Direito, em comparação com os consumos das edificações no estado atual.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2009.

ASHRAE 55-2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2013.

Baltar, M. G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos visando Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

Brofman, E. G. **Estudo de Cogeração em Hotéis**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

Carotenuto, A. R. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

Direção Unipampa Alegrete; **Voo aerofotográfico sobre o campus utilizando VANT**. 2014. Disponível em: <<http://direcao-unipampa-alegrete.blogspot.com.br>>. Acesso em: 13 de novembro de 2016.

EnergyPlus. **Engineering Reference**. U.S Department of Energy. Washington, D.C., 2016.

Fanger, O. **Thermal Comfort – Analysis and Application Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970.

International Organization for Standardization. **ISO 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort**. Geneva, 1994.

Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. PW Editores. São Paulo, 1997.

Marques, M. C. S.; Haddad, J.; Martins, A. R. S. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. Eletrobrás/PROCEL Educação, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá 2006.

Martins, M.P. de S. **Inovação Tecnológica e Eficiência Energética**. MBA em Energia Elétrica, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1999.

Mazzarella, L.; Pasini, M.; **Conduction Transfer Function vs Finite Difference: comparison in terms of accuracy, stability and computational time**. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Energy Procedia, 2015.

Müller, R. W. **Estudo da Eficiência Energética e Conforto Térmico de um Prédio Universitário via Simulação com o EnergyPlus**. Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

Pereira, F. L. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

Piccoli Junior, L. A. **Adequação de uma Casa Protegida pela Terra ao Conforto Térmico e Eficiência Energética**. 2012. Trabalho de Conclusão do Curso em

Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Pietzch, D. A. **Dimensionamento de Um Sistema VRV e Análise Energética para Uma Escola.** 2012. Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Rhodes, J. D.; Gorman, W. H.; Upshaw, C. R.; Webber, M. E.; **Using BEopt (REVISAR) (EnergyPlus) With Energy and Surveys to Predict Actual Residential Energy Usage.** Energy and Buildings 86, 808-816, 2015.

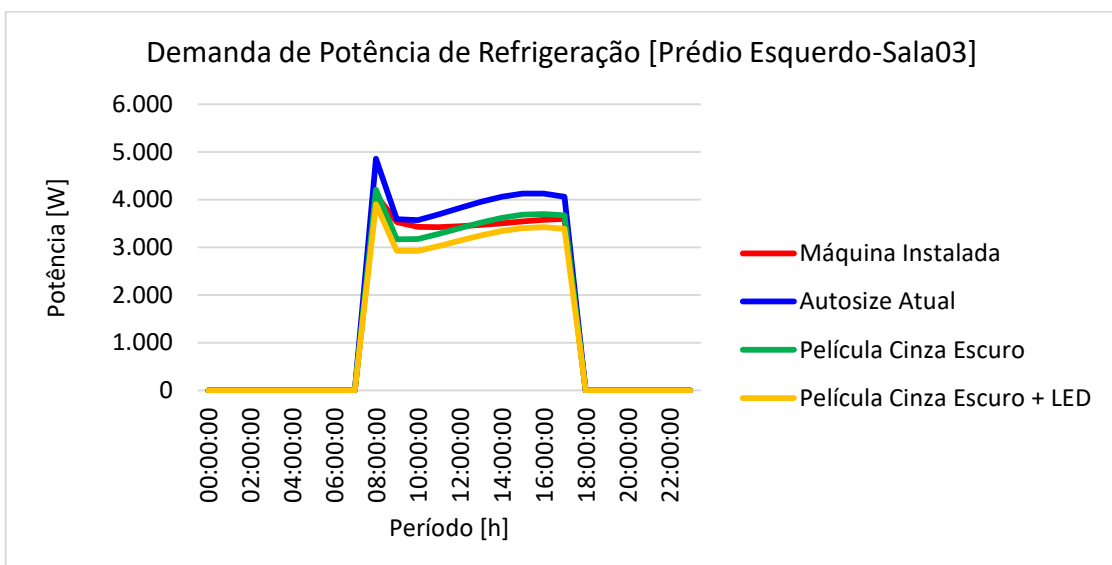
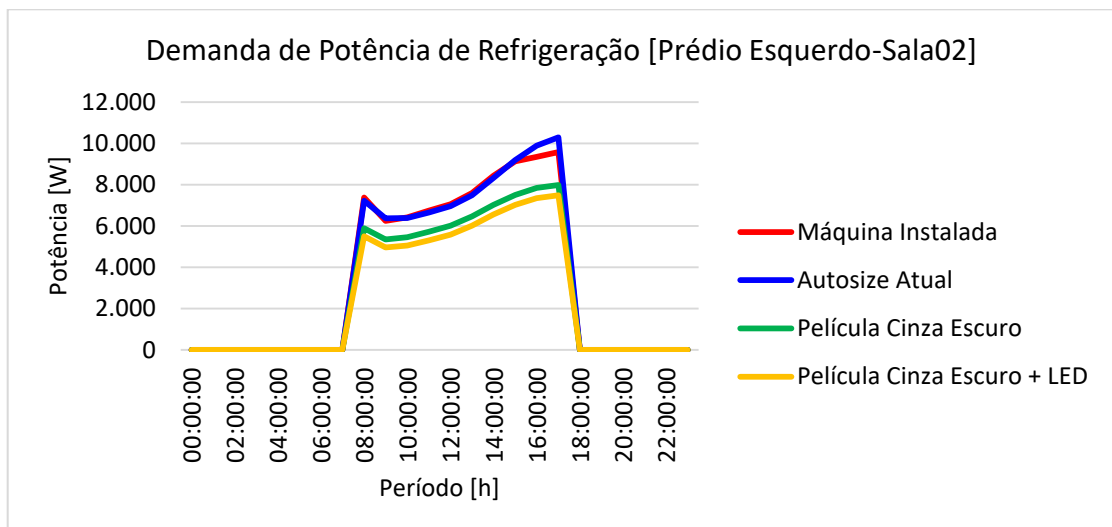
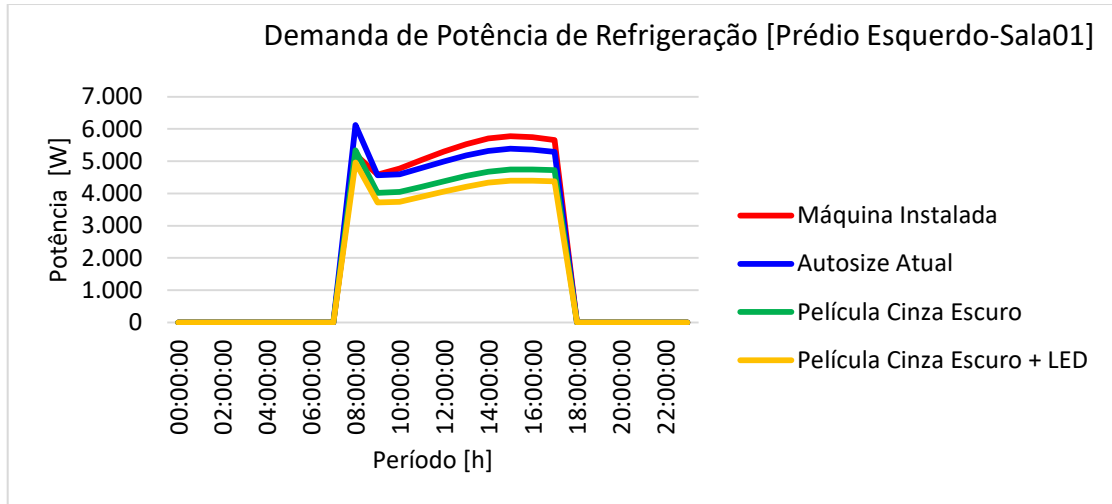
Ruas, A.C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho.** FUNDACENTRO. São Paulo, 1999.

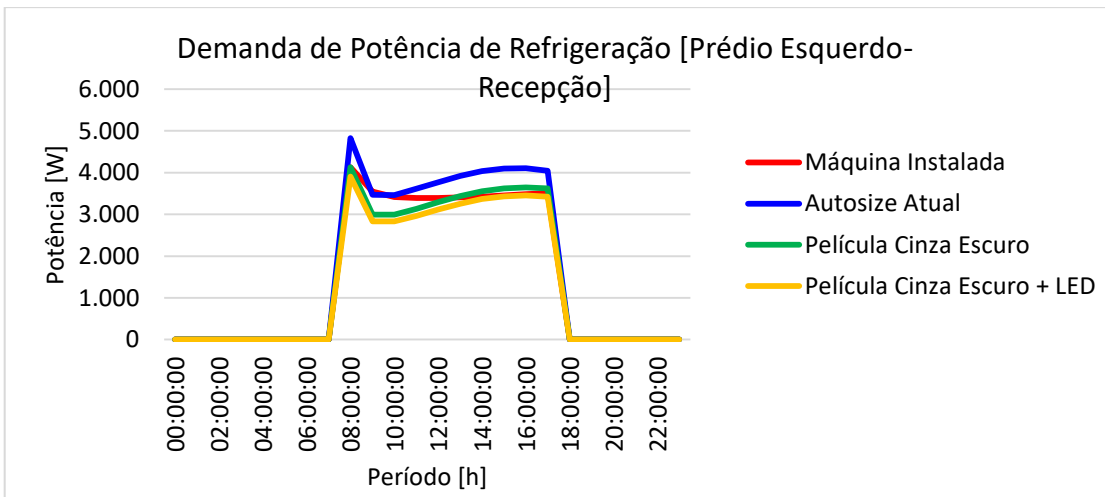
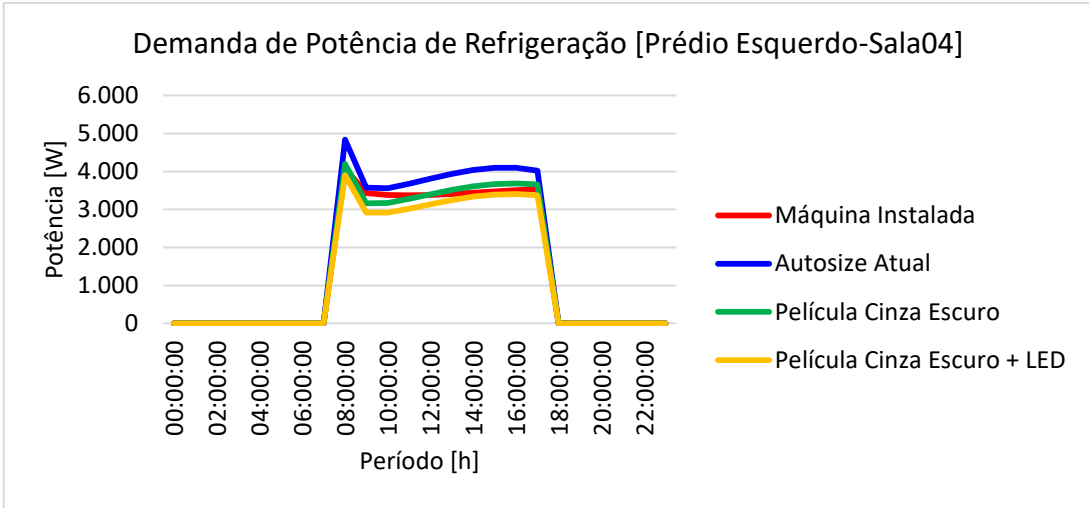
Schwieder, A. O. **Análise Termoenergética da Utilização de Películas nos Vidros da Fachada de um Prédio Comercial Climatizado e sua Viabilidade Econômica.** Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

Stein, T. S. **Impacto das Soluções de Arquitetura e Climatização no Consumo de Energia de uma Edificação.** Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

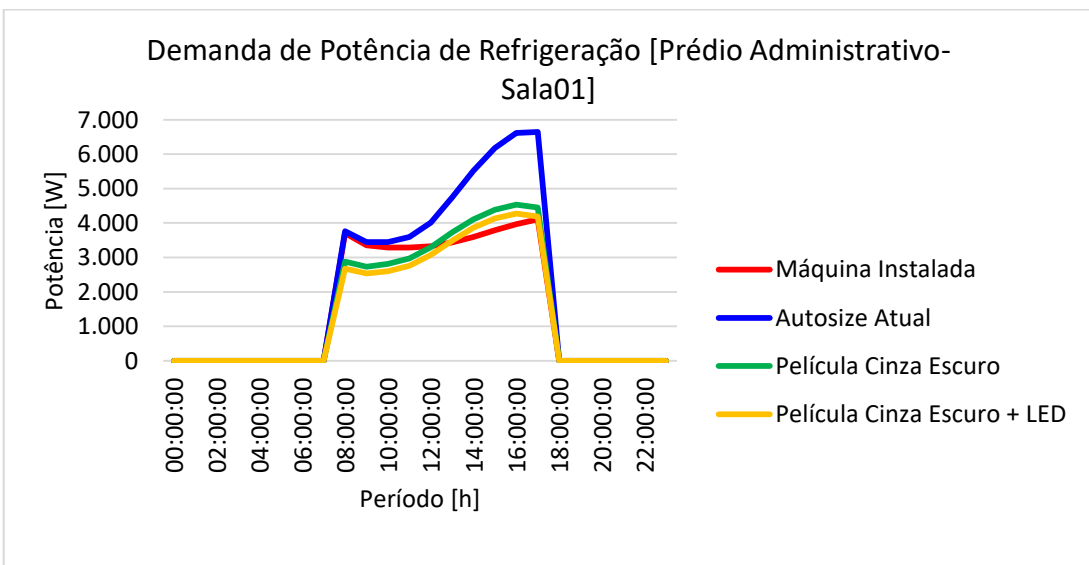
APÊNDICE A – Demandas de Potência de Refrigeração

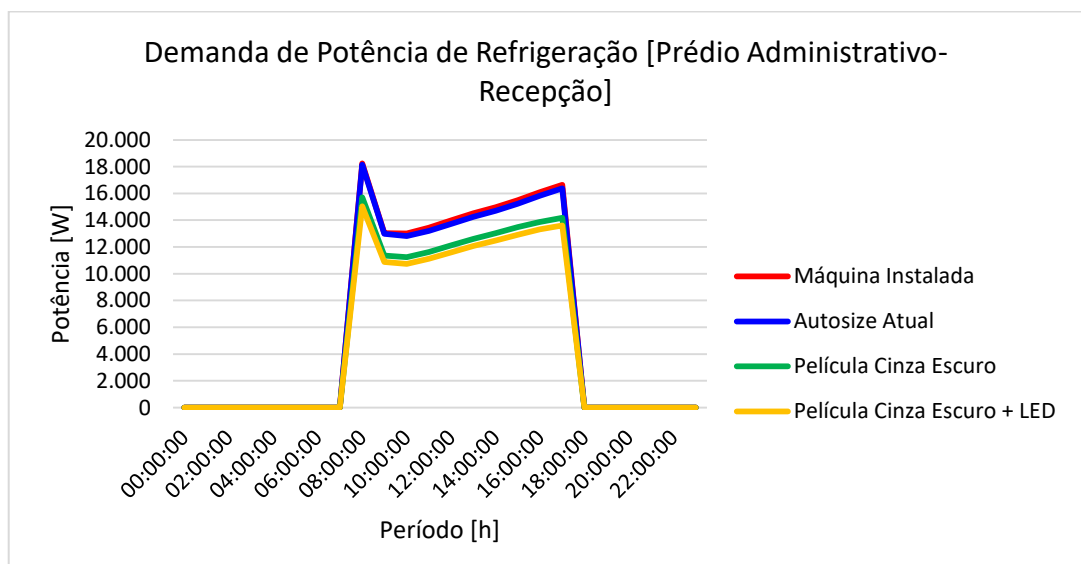
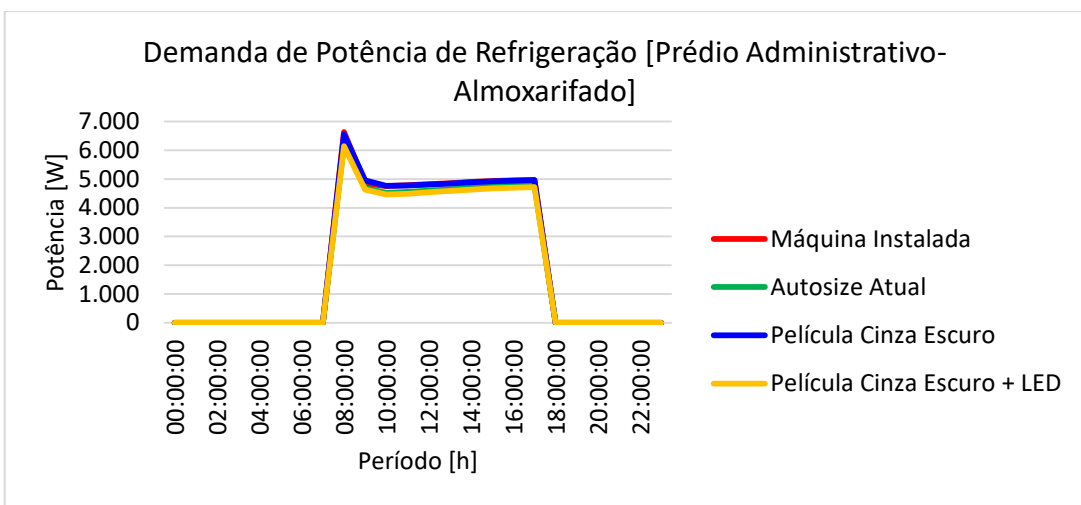
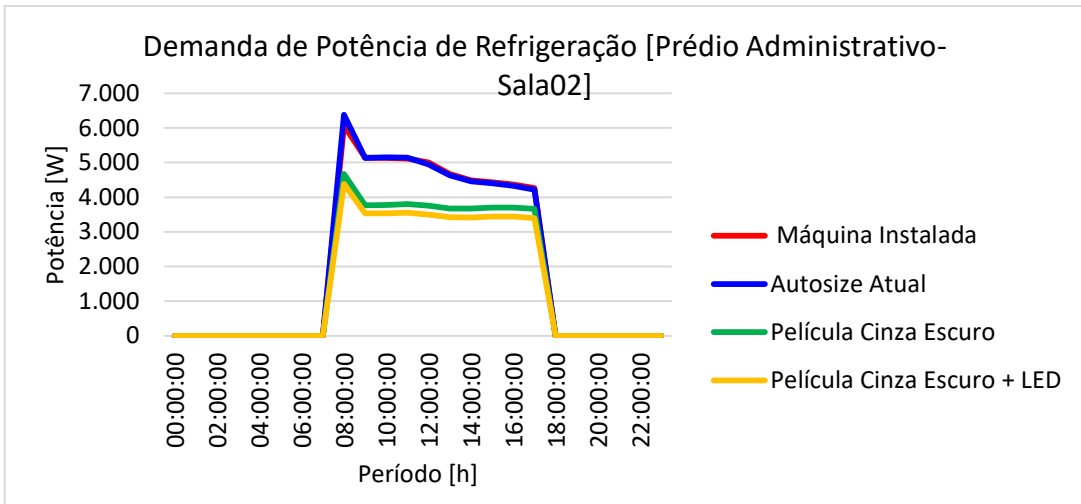
Demandas de Potência de Refrigeração – Prédio Esquerdo



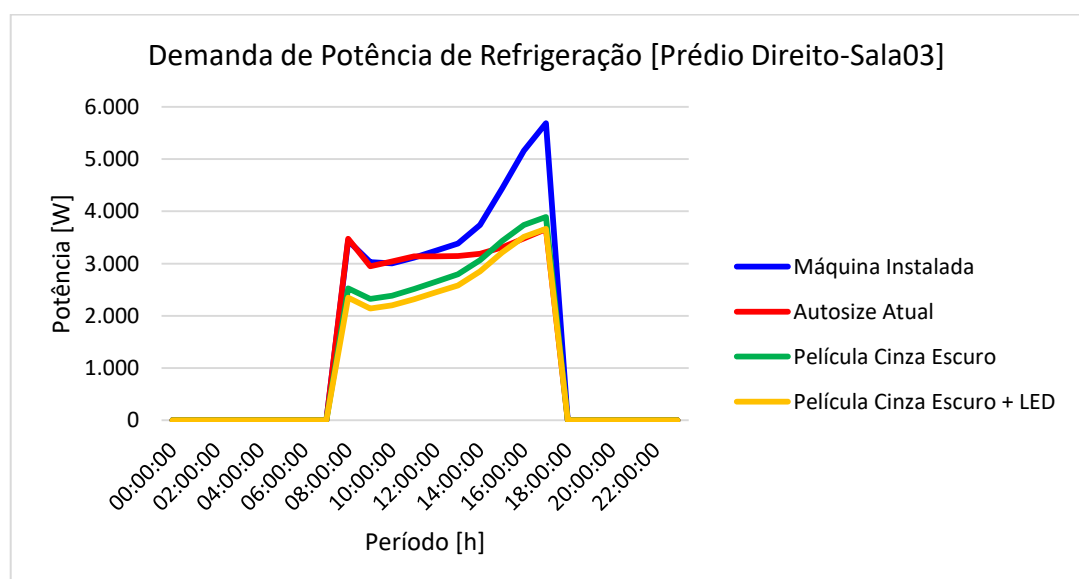
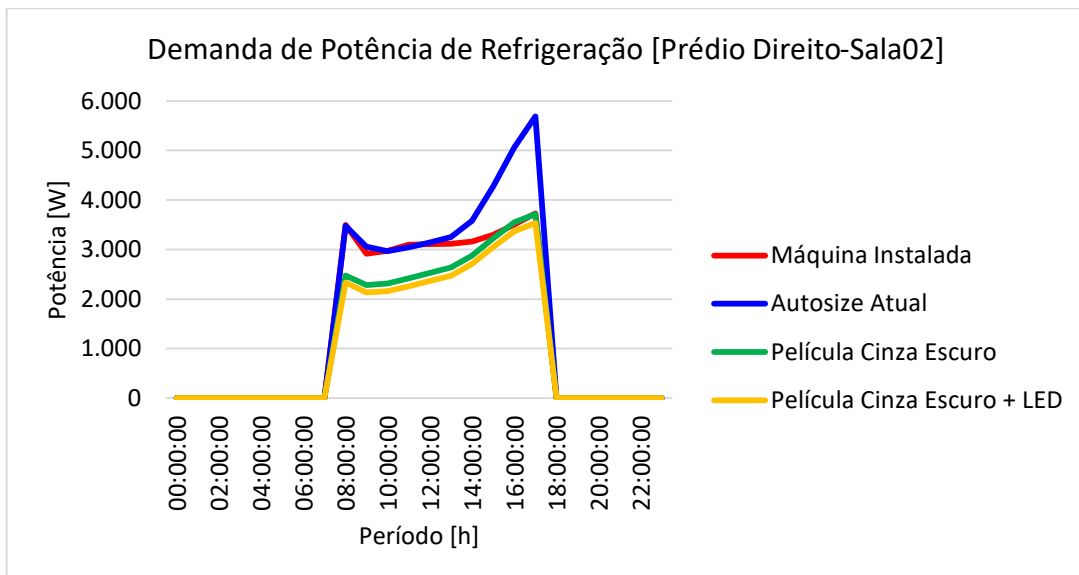
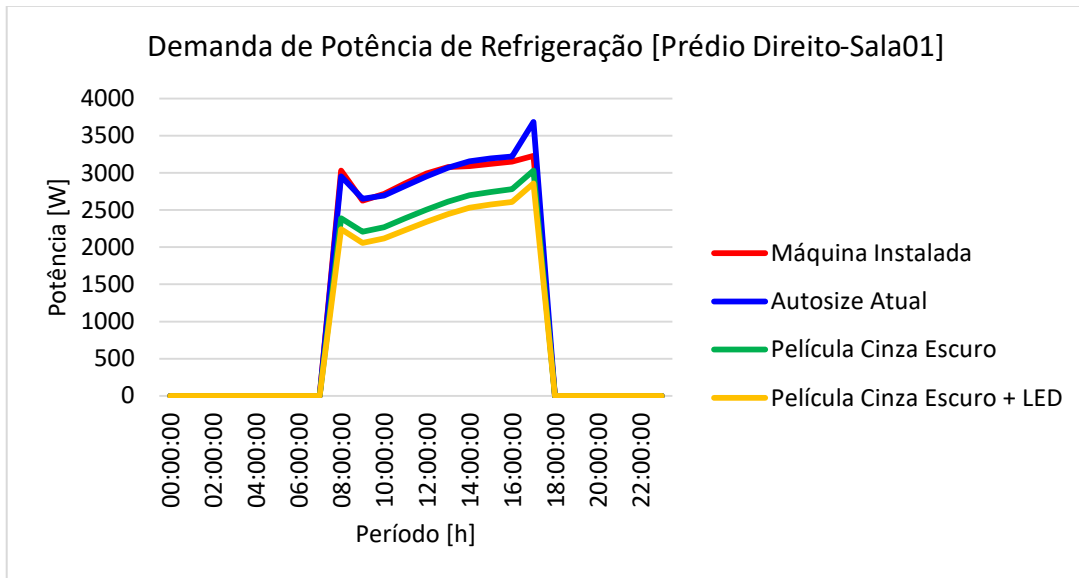


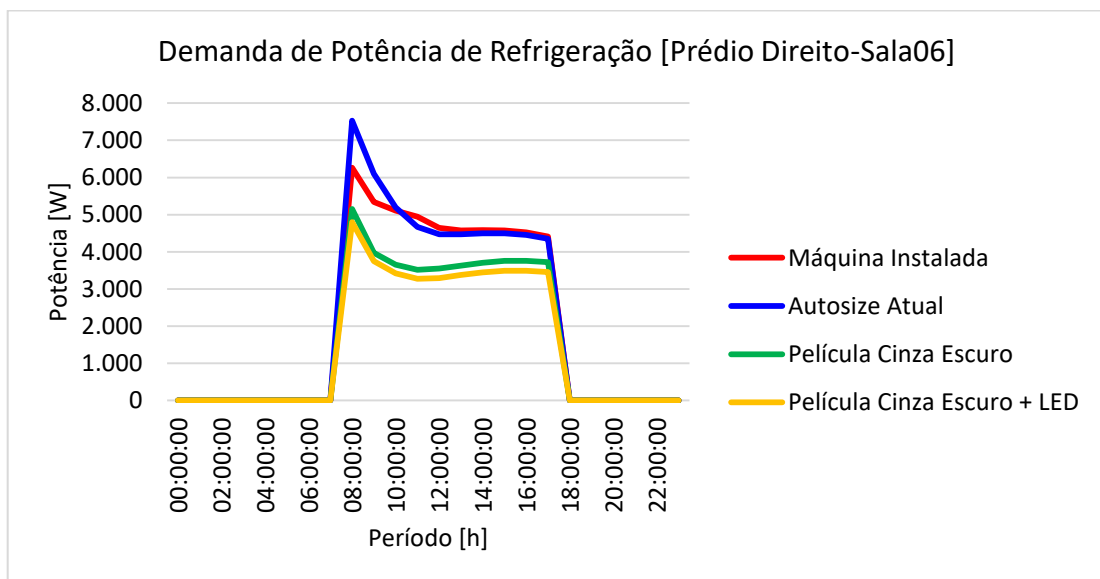
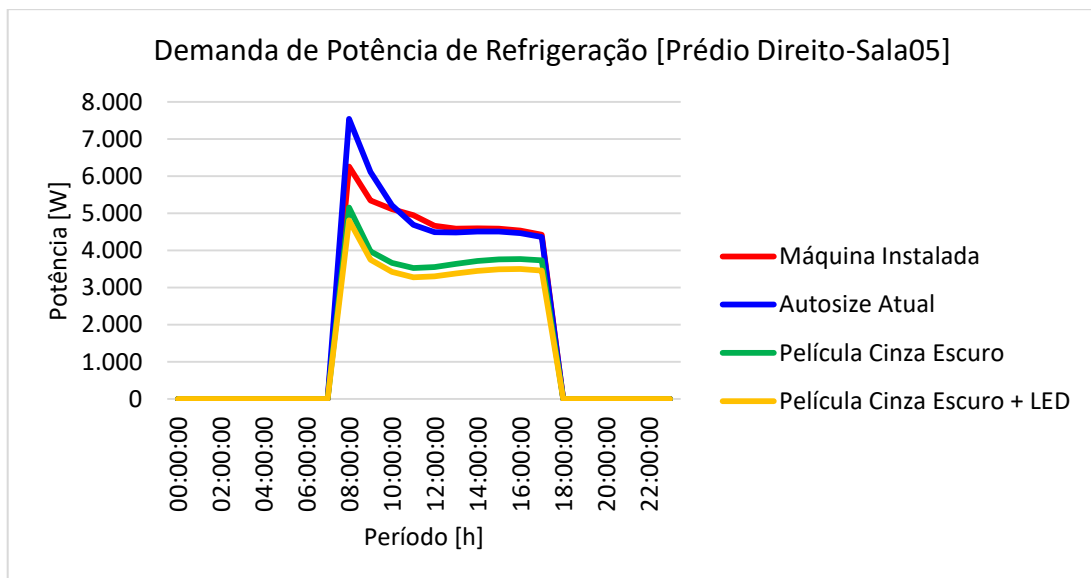
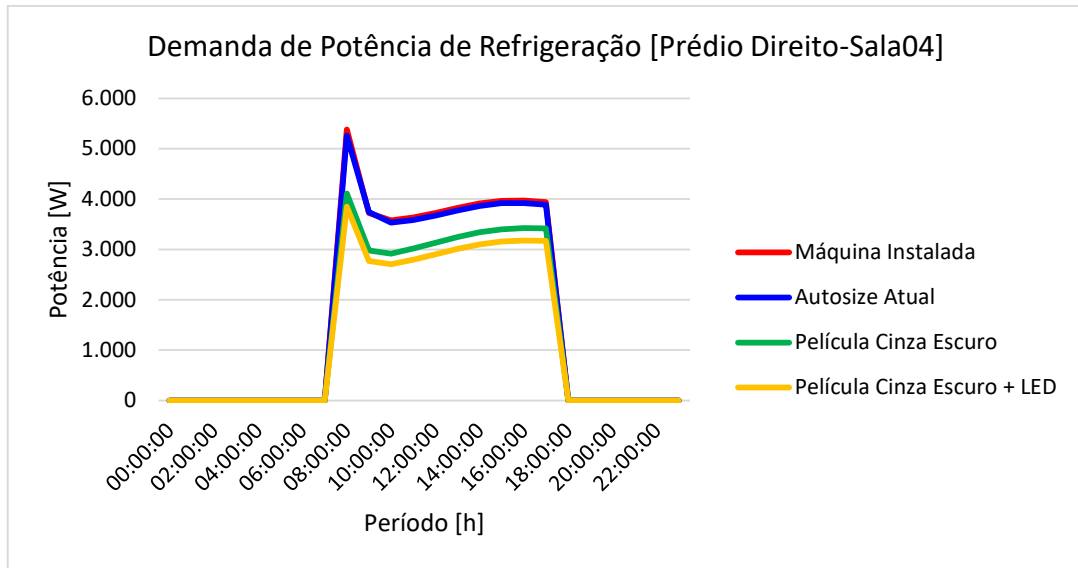
Demandas de Potência de Refrigeração – Prédio Administrativo

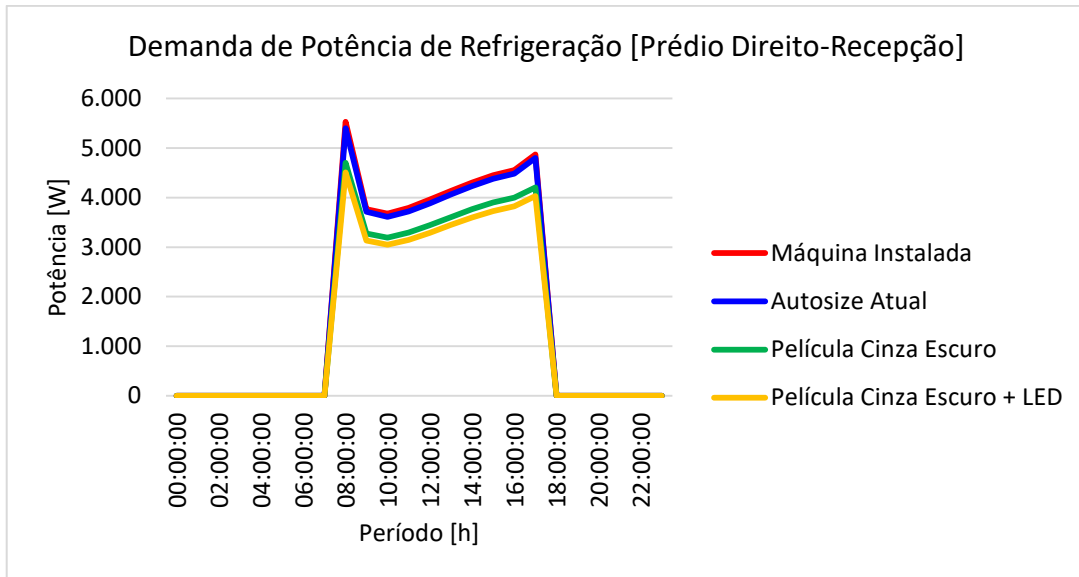




Demandas de Potência de Refrigeração – Prédio Direito

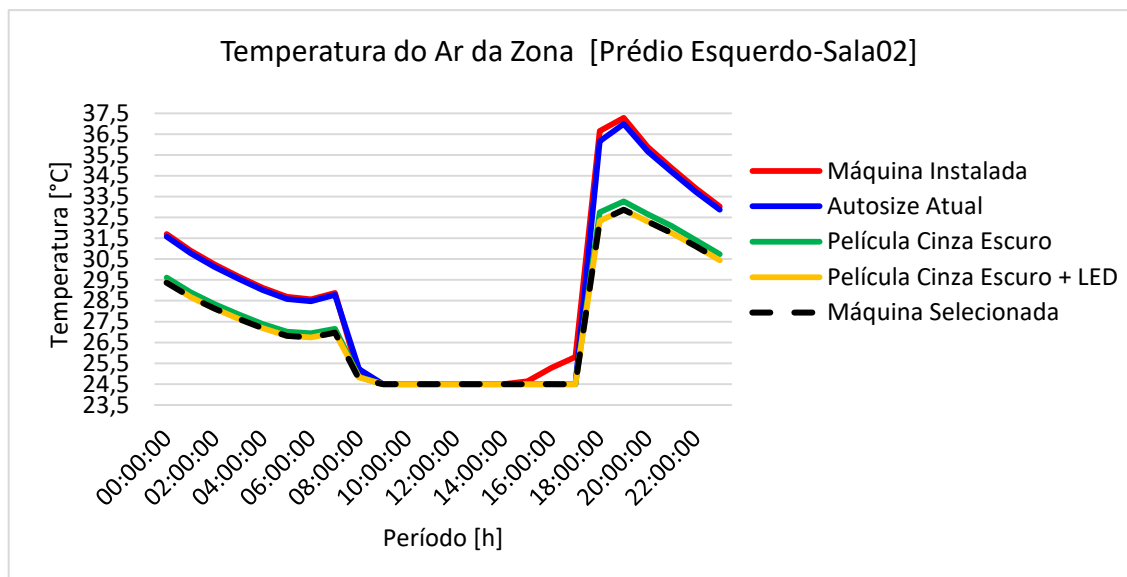
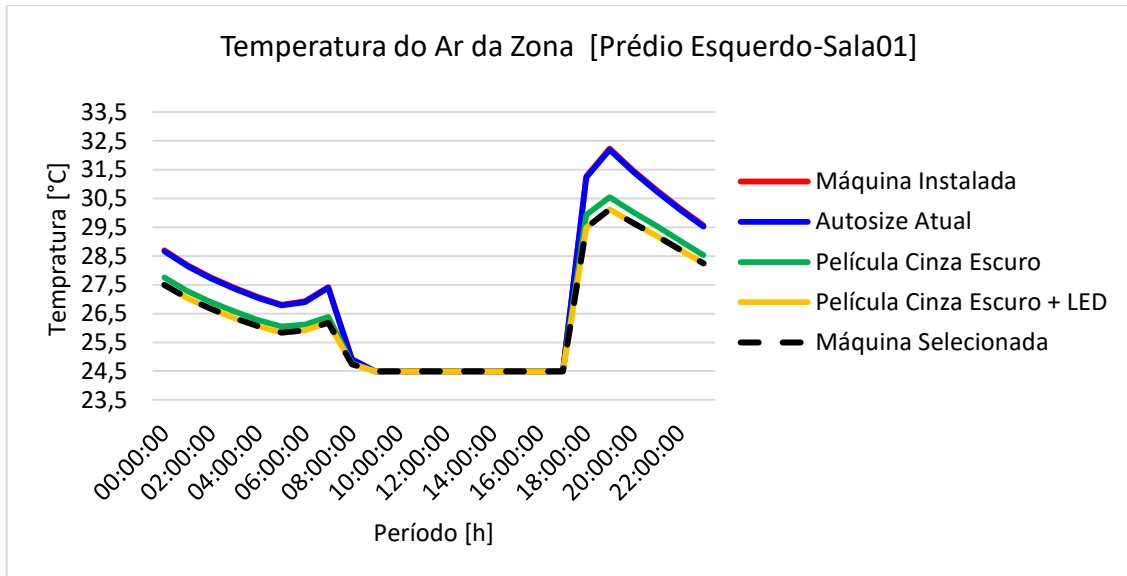


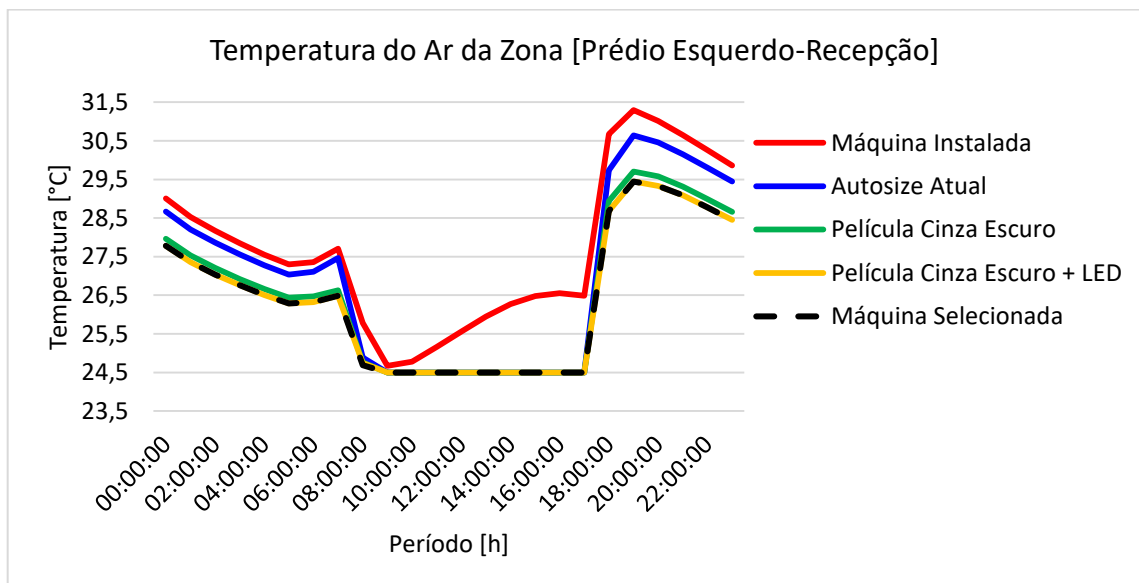
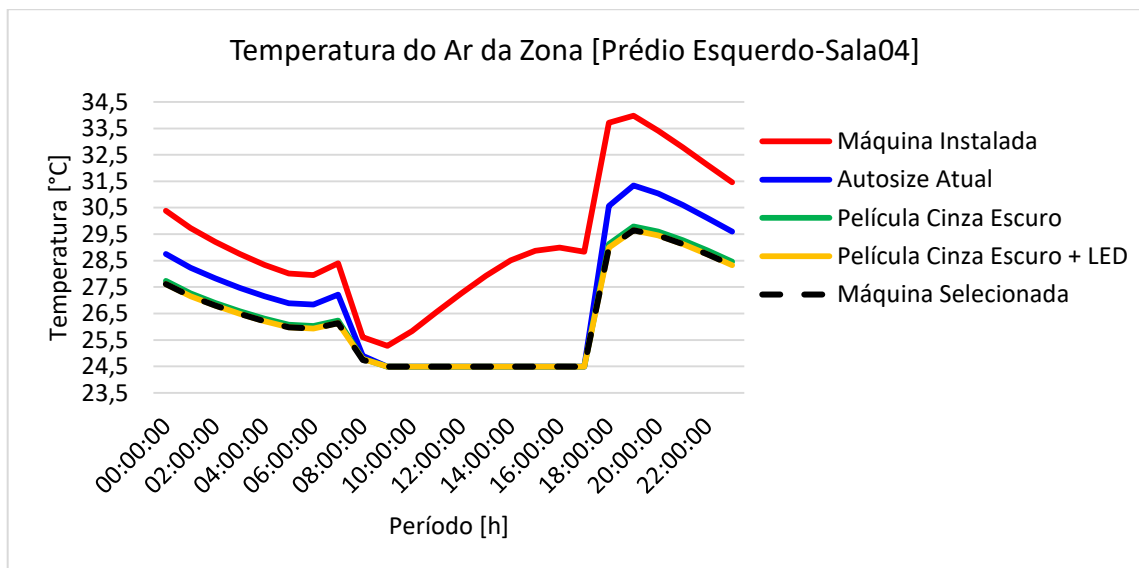
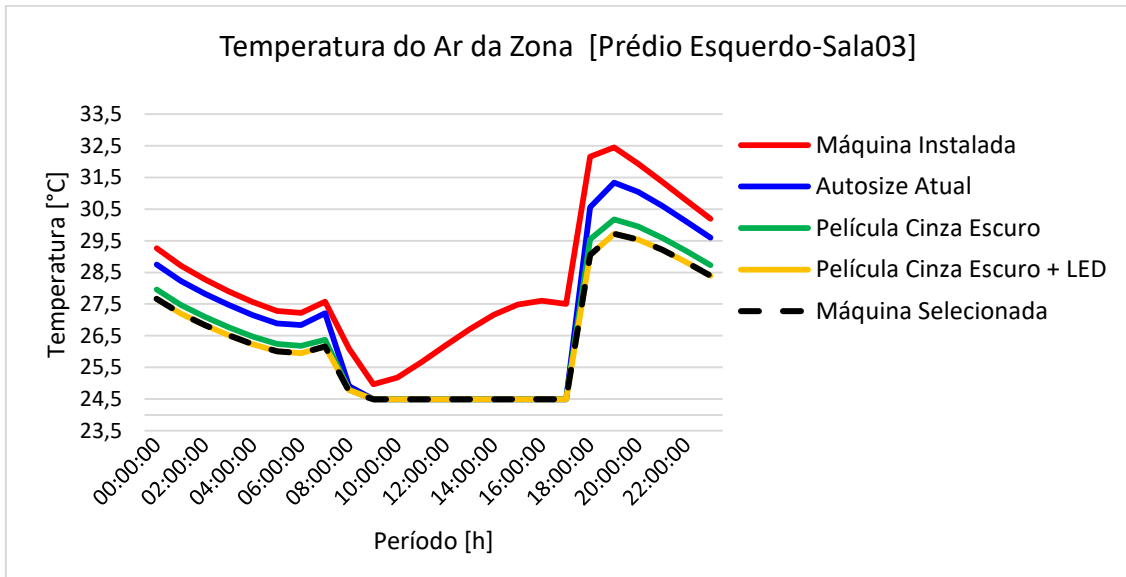




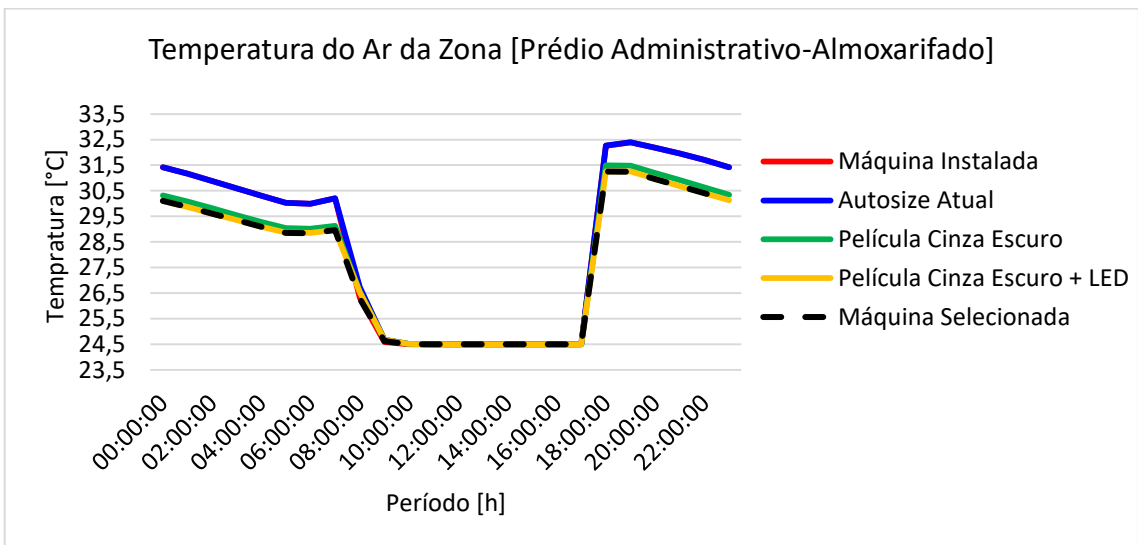
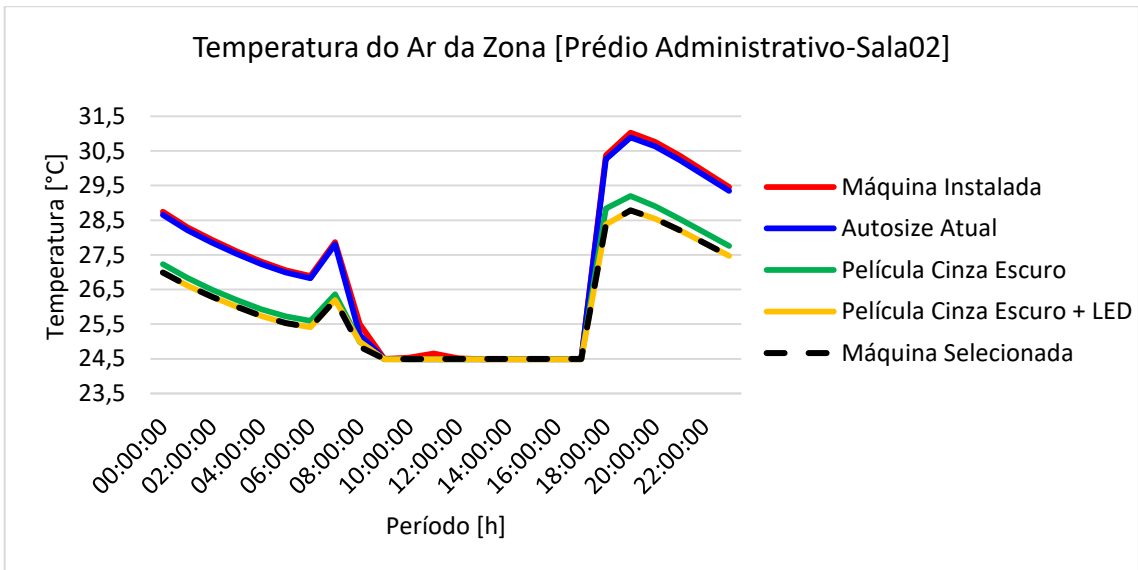
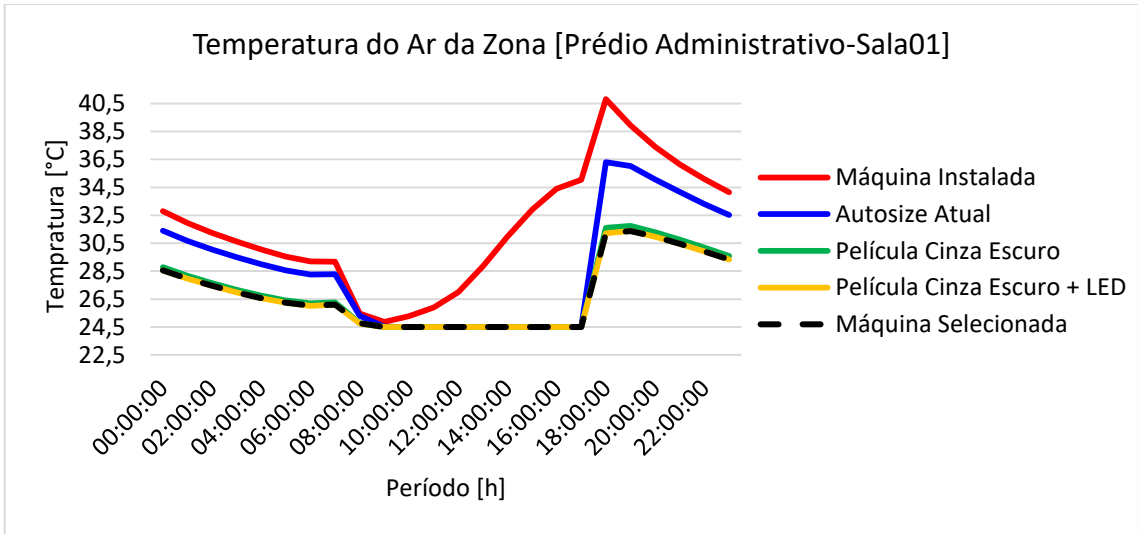
APÊNDICE B – Temperatura do Ar das Zonas

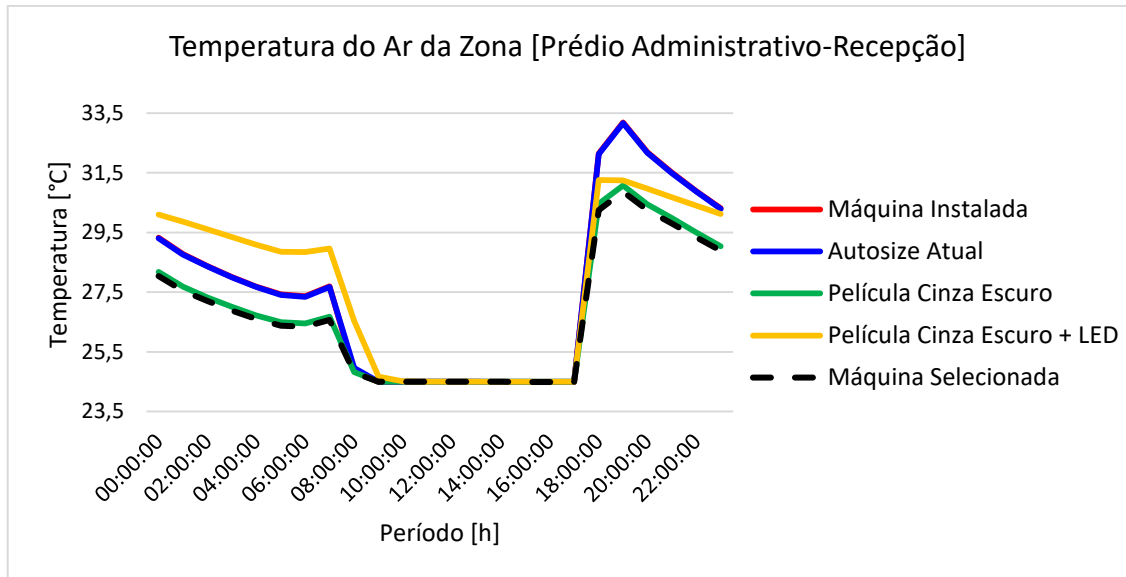
Temperatura do Ar das Zonas – Prédio Esquerdo



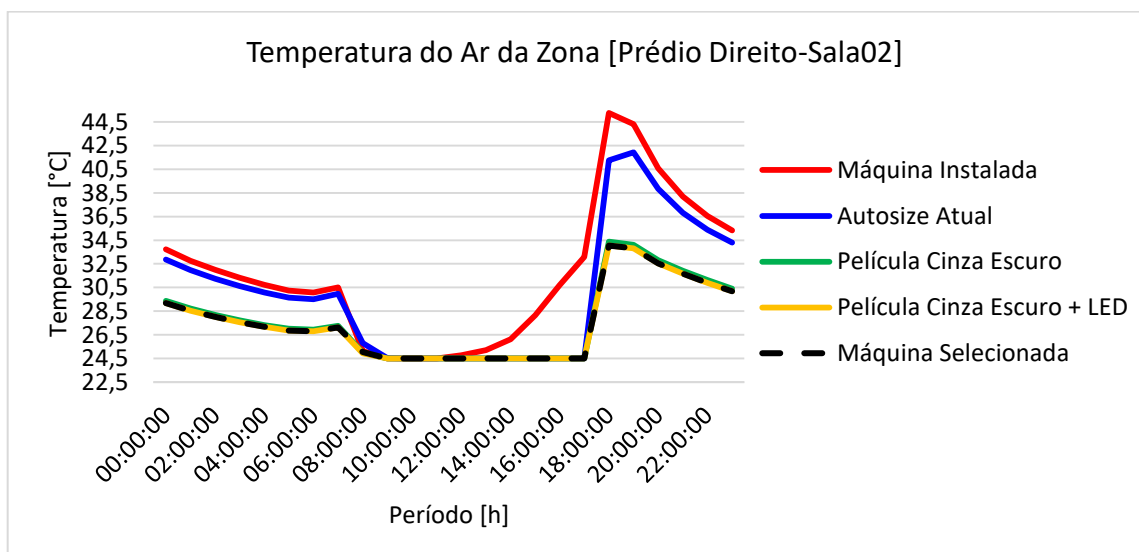
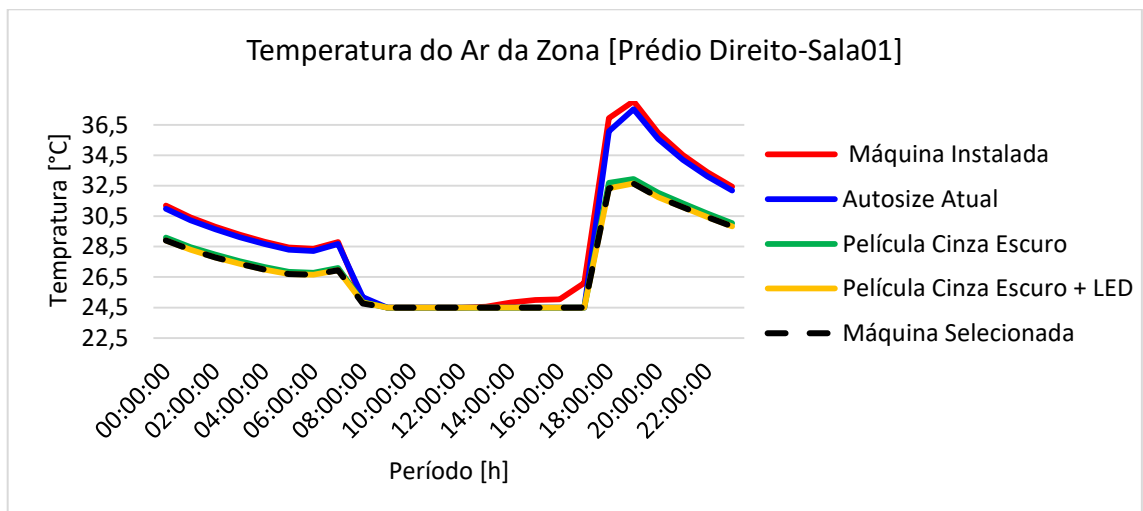


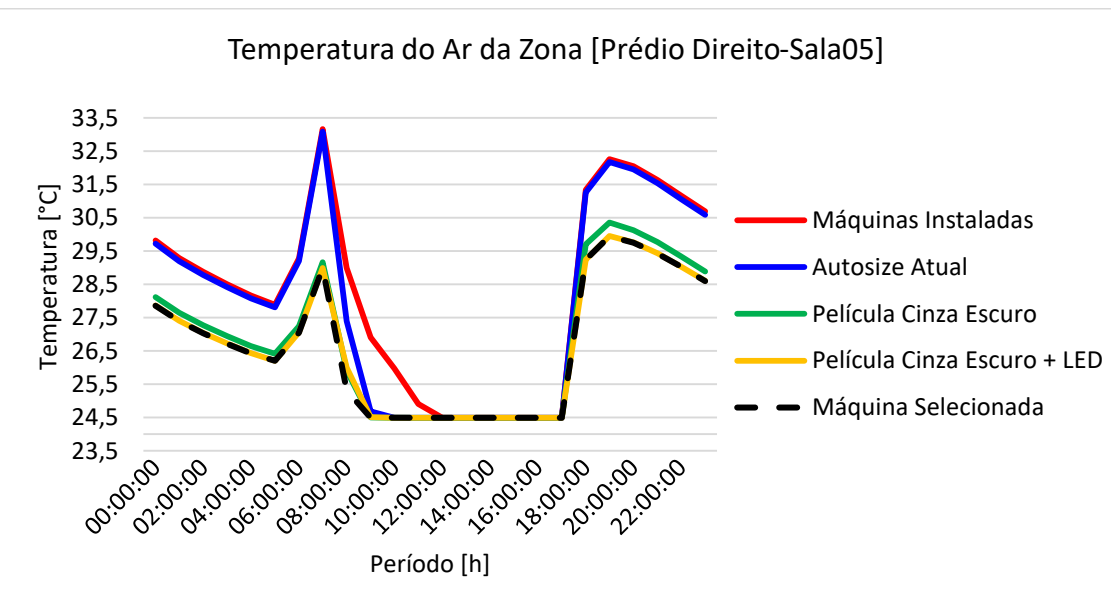
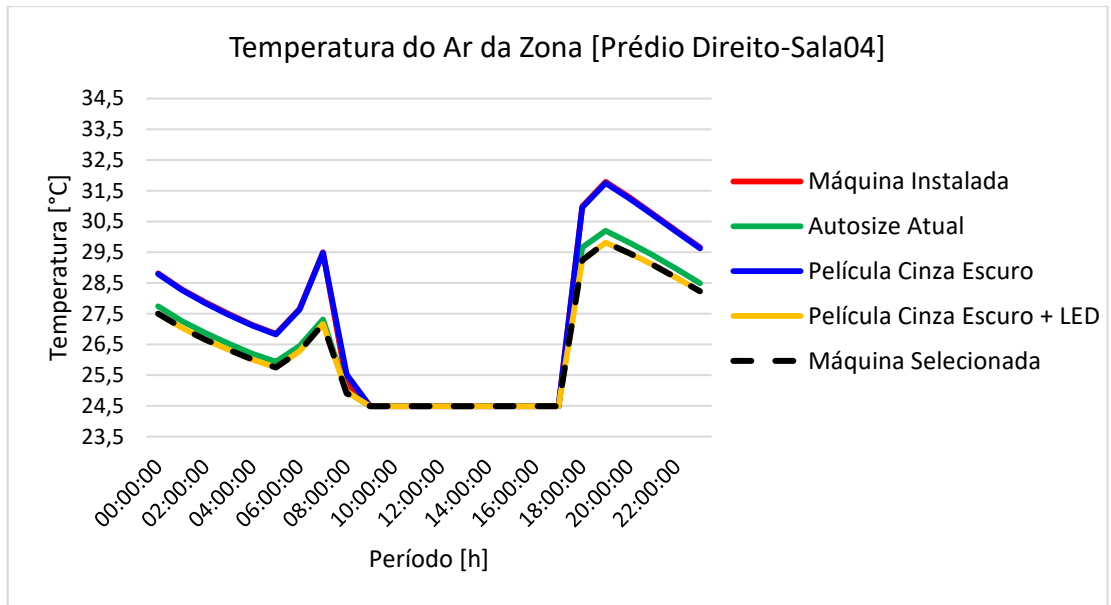
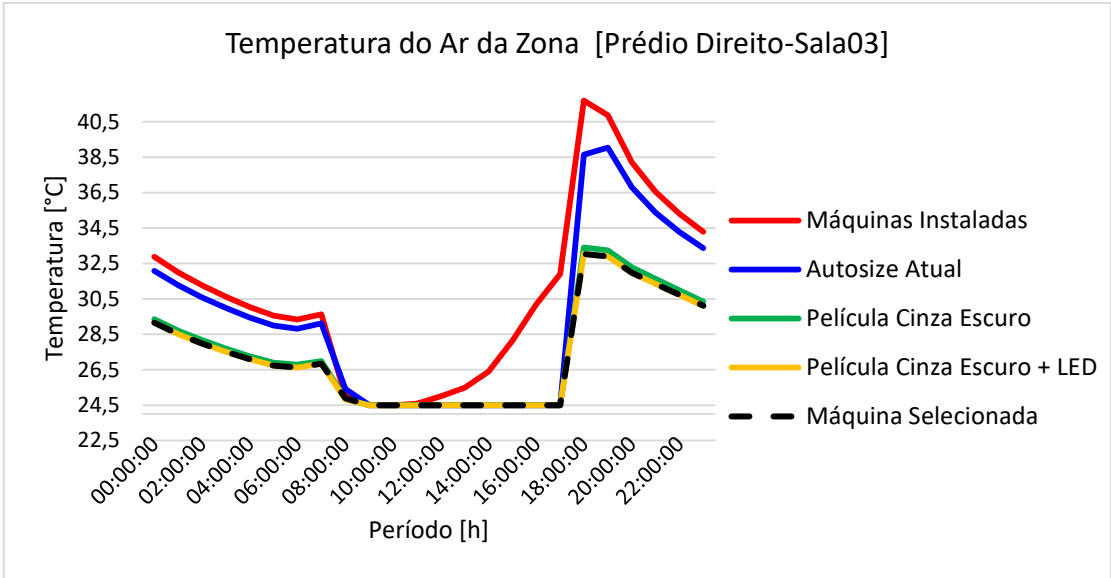
Temperatura do Ar das Zonas – Prédio Administrativo

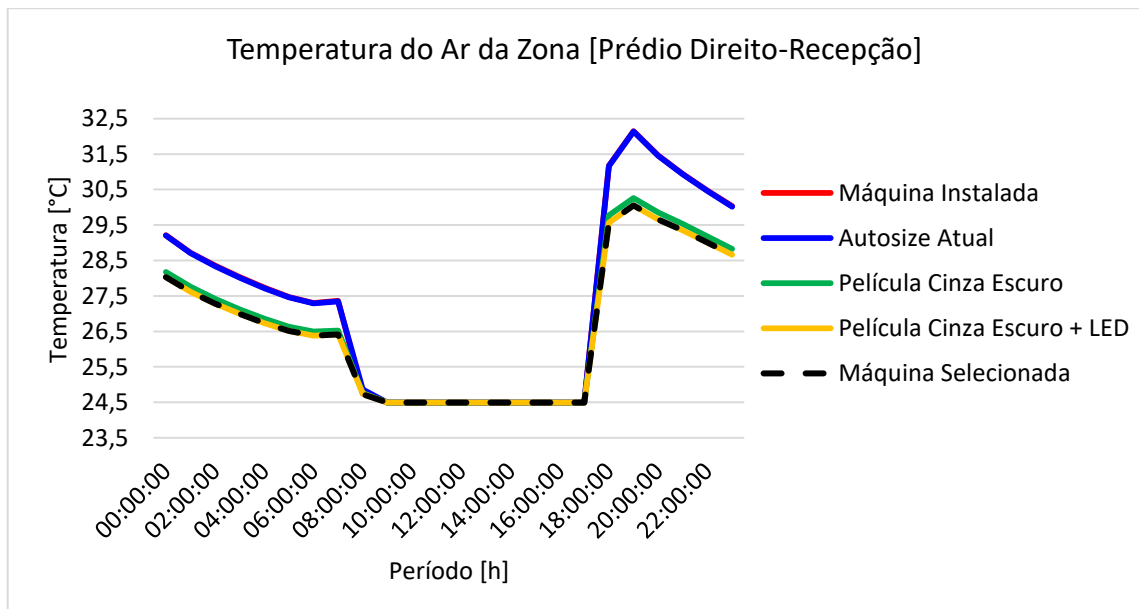
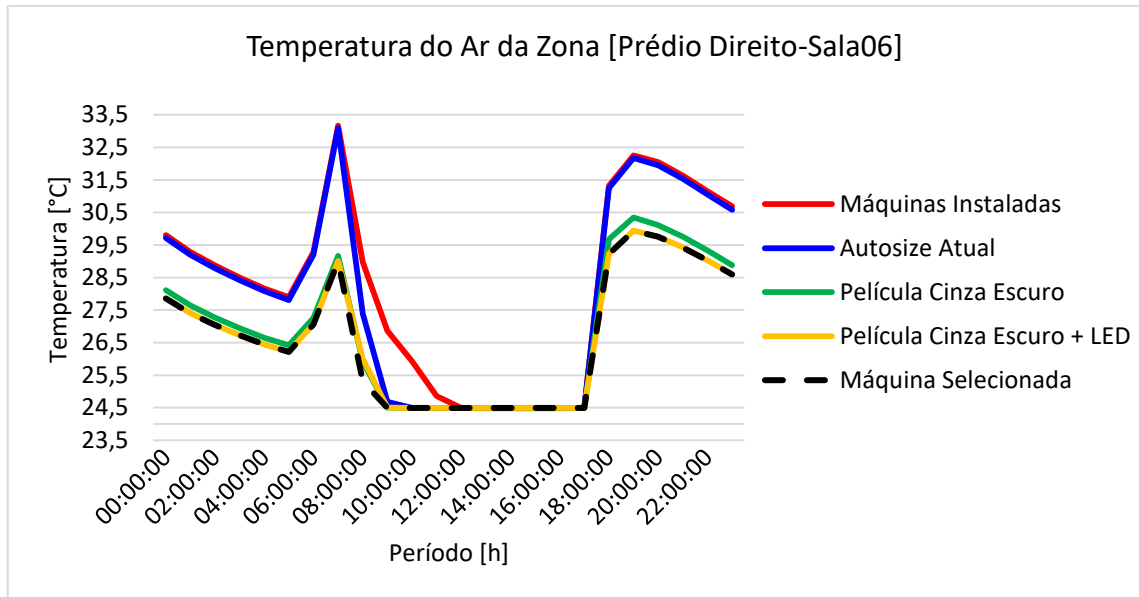




Temperatura do Ar das Zonas – Prédio Direito

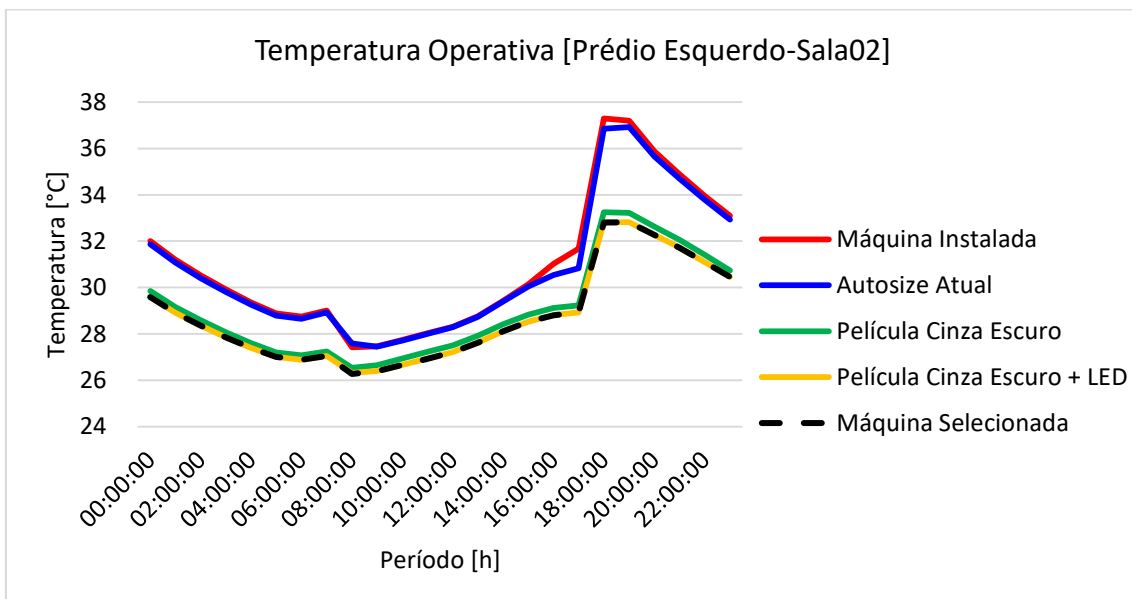
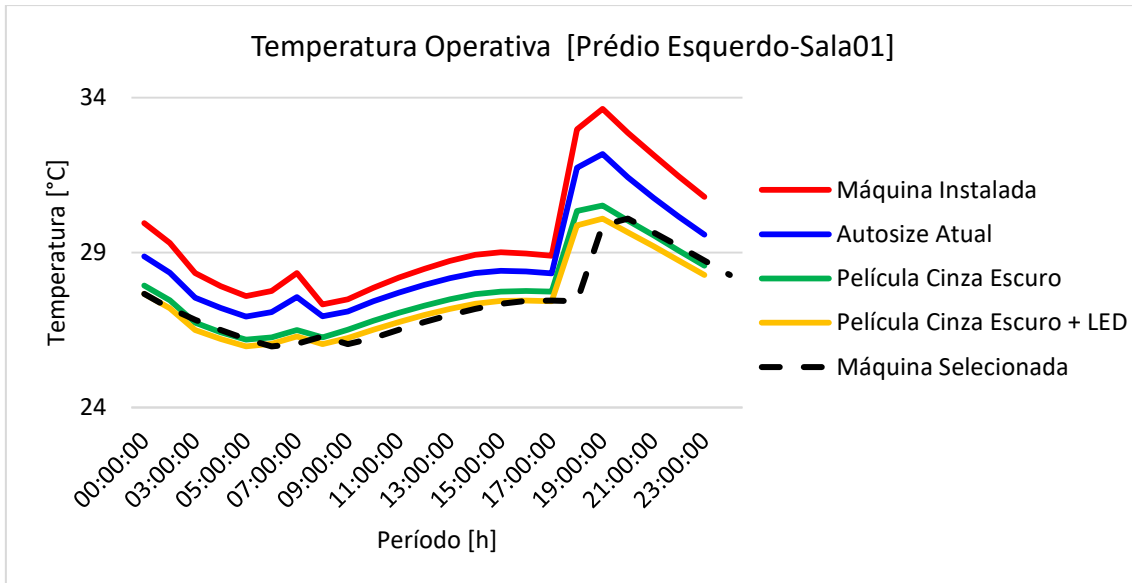


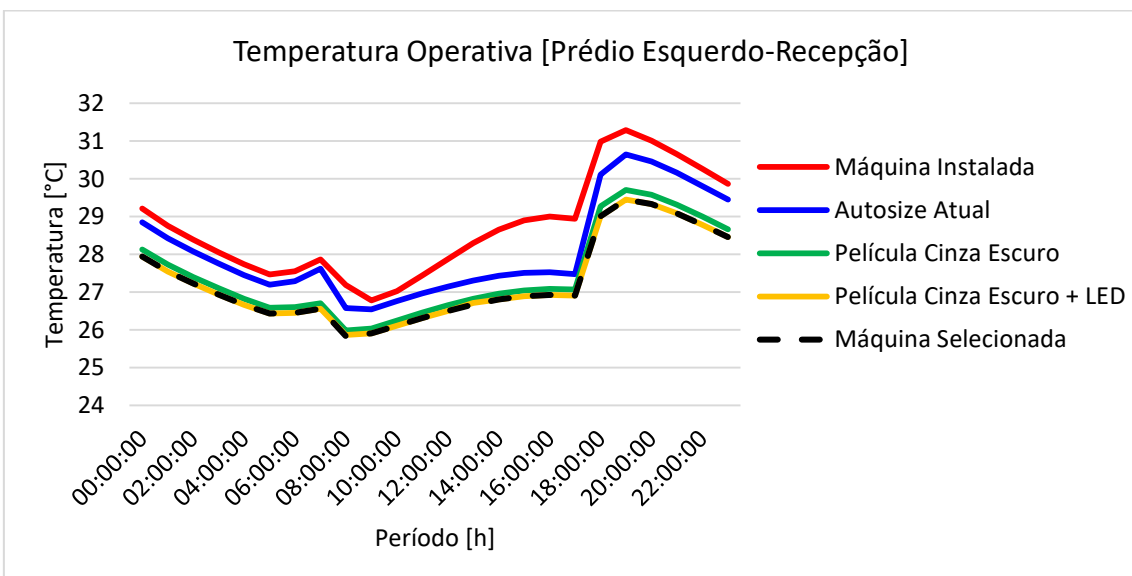
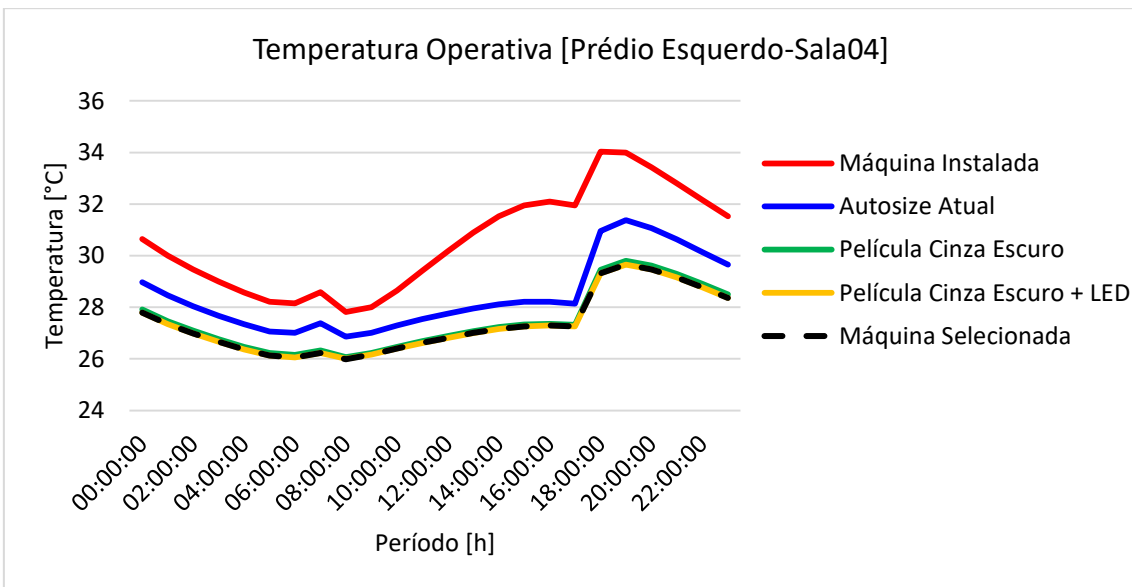
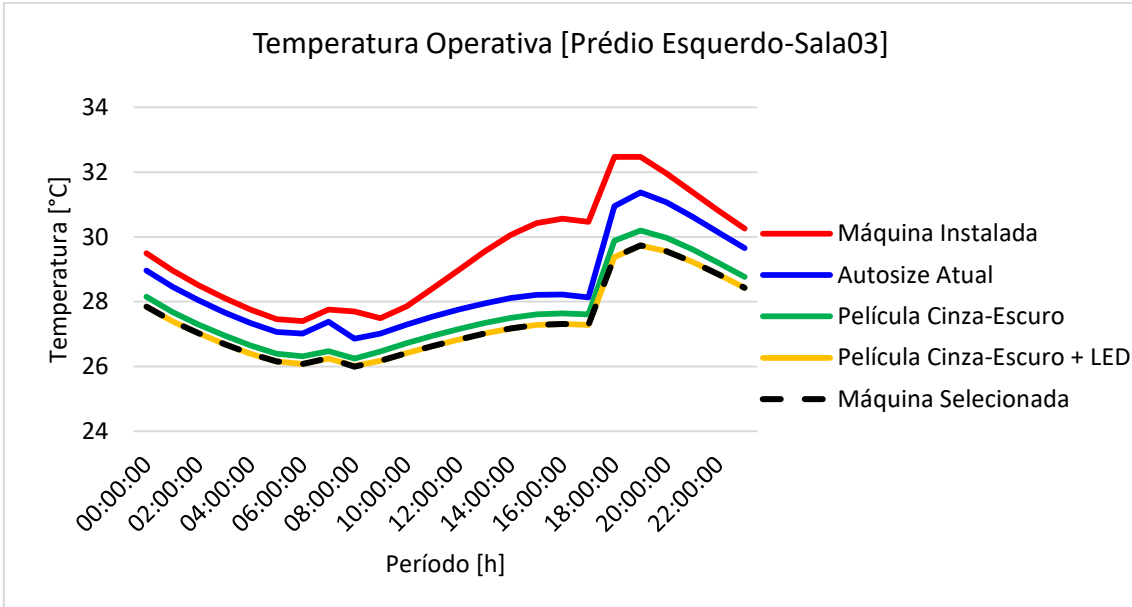




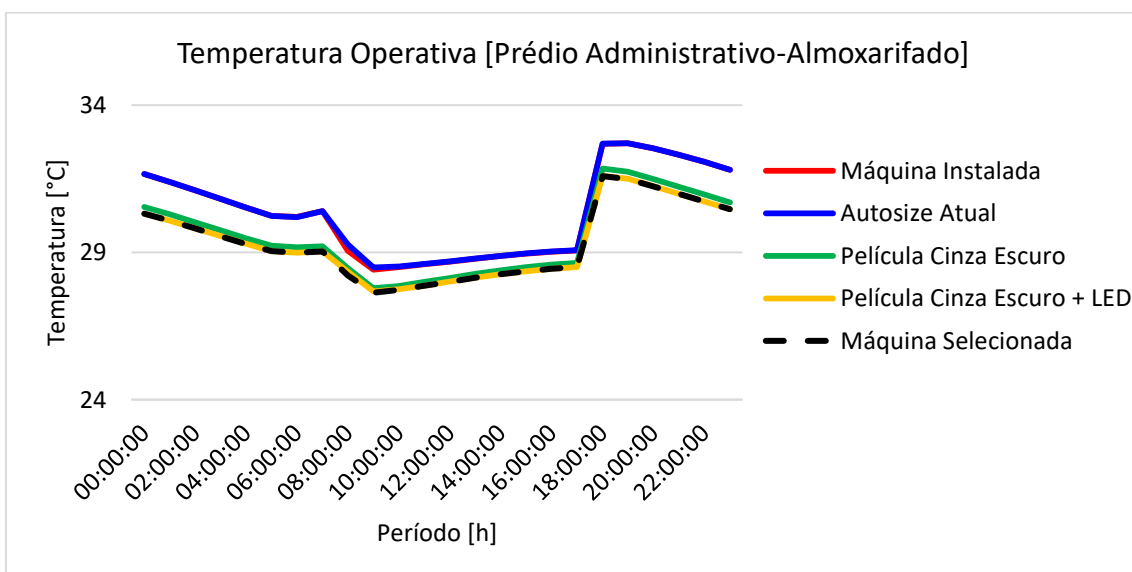
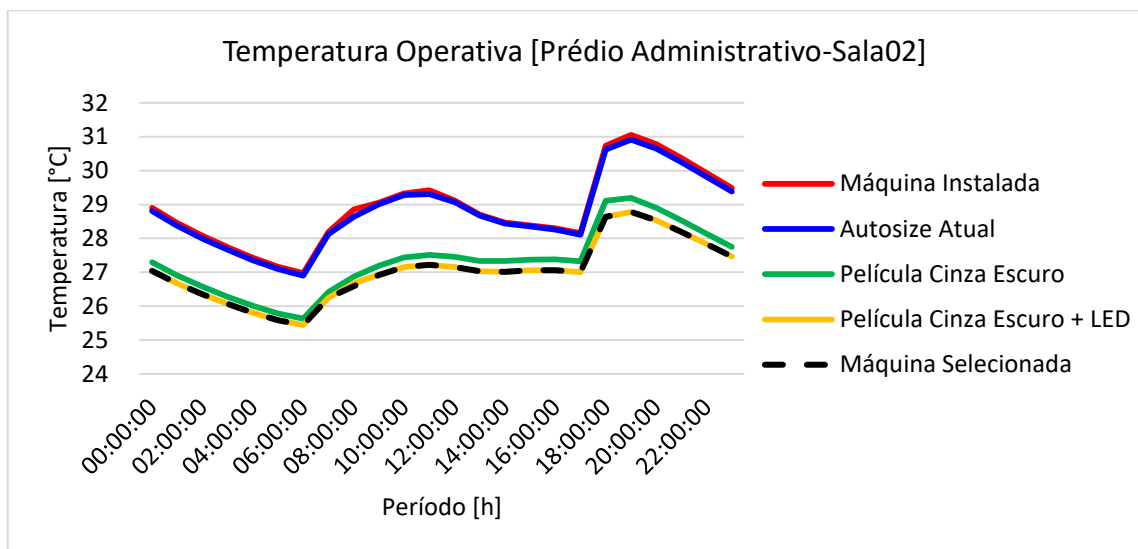
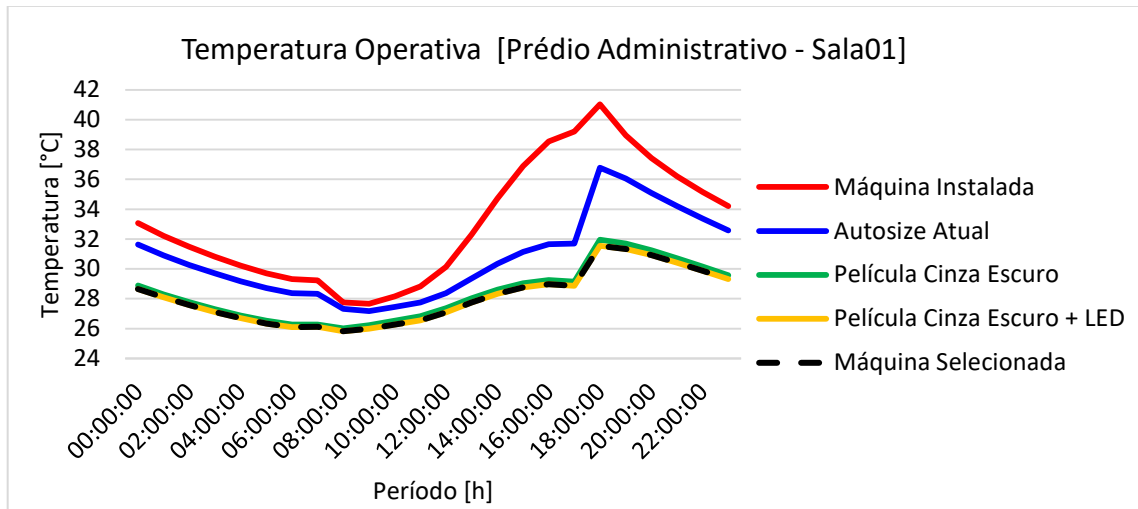
APÊNDICE C – Temperatura Operativa das Zonas

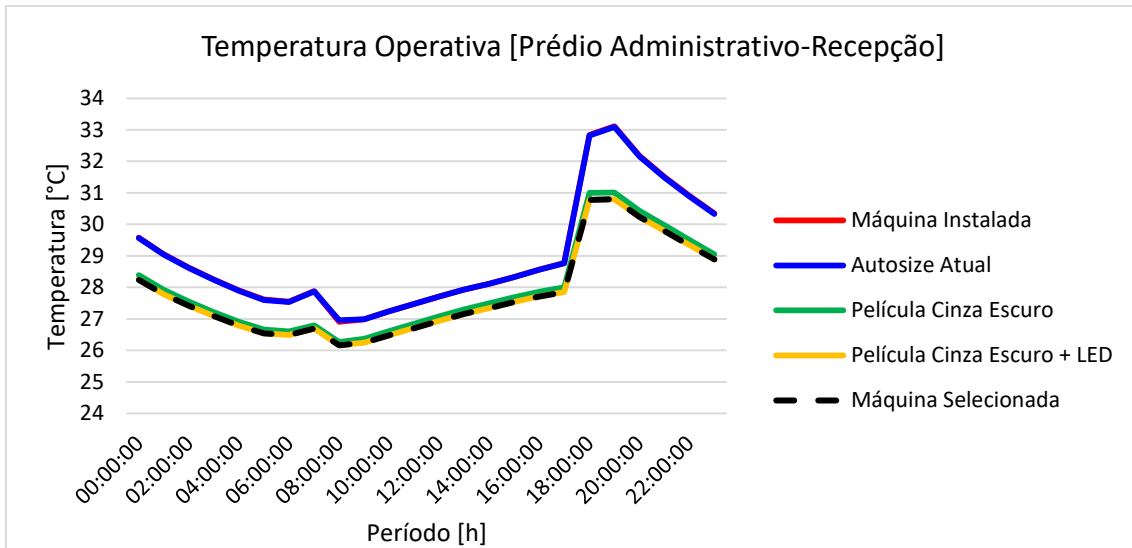
Temperatura Operativa das Zonas – Prédio Esquerdo



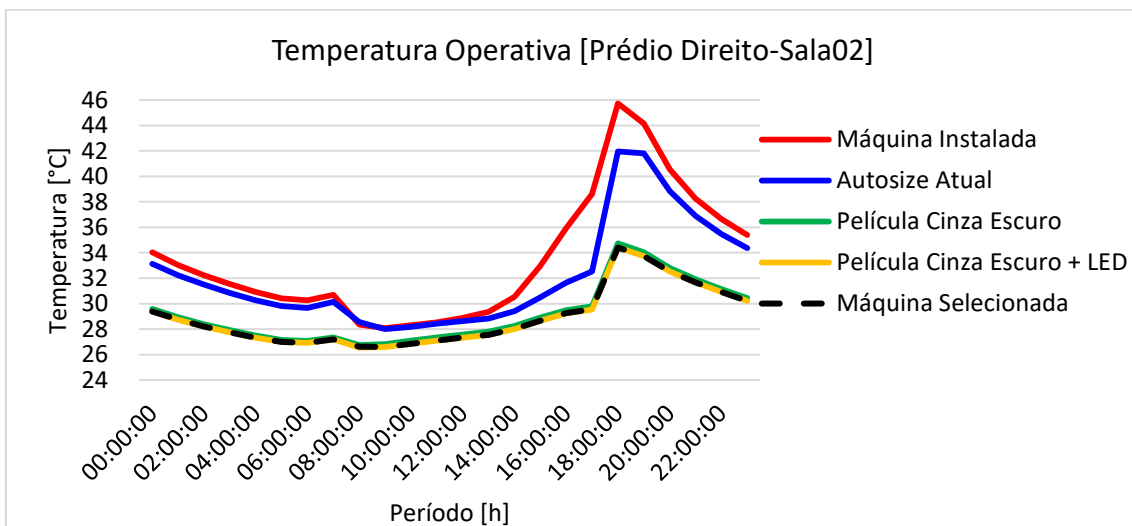
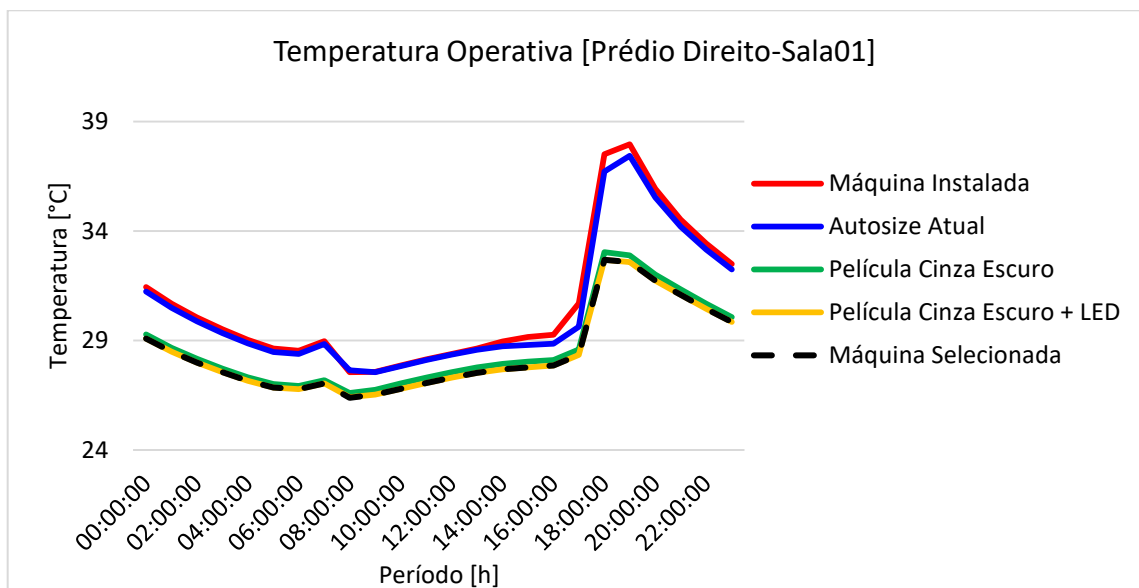


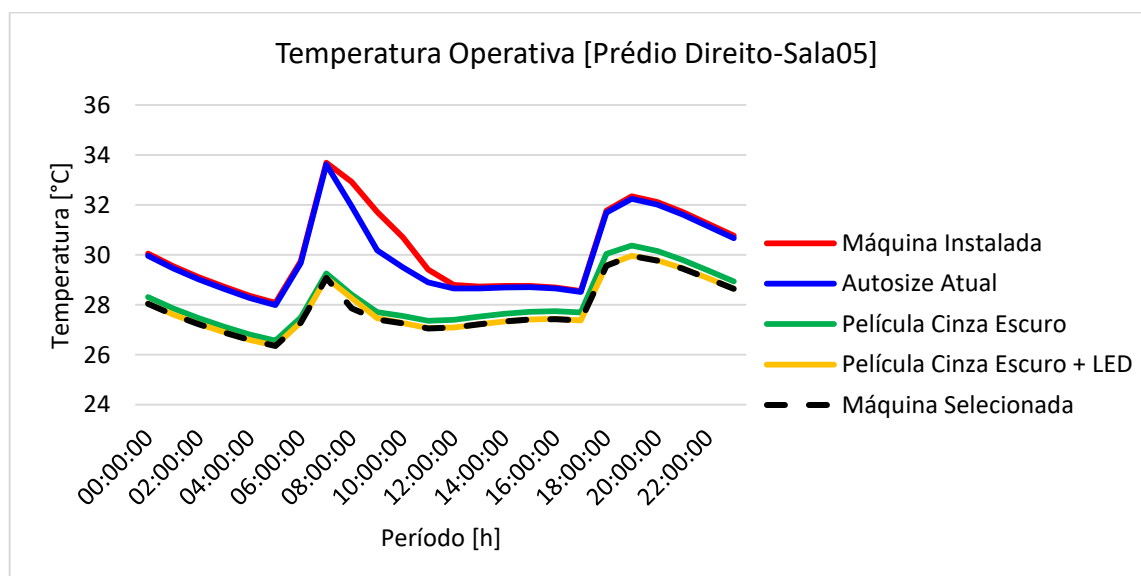
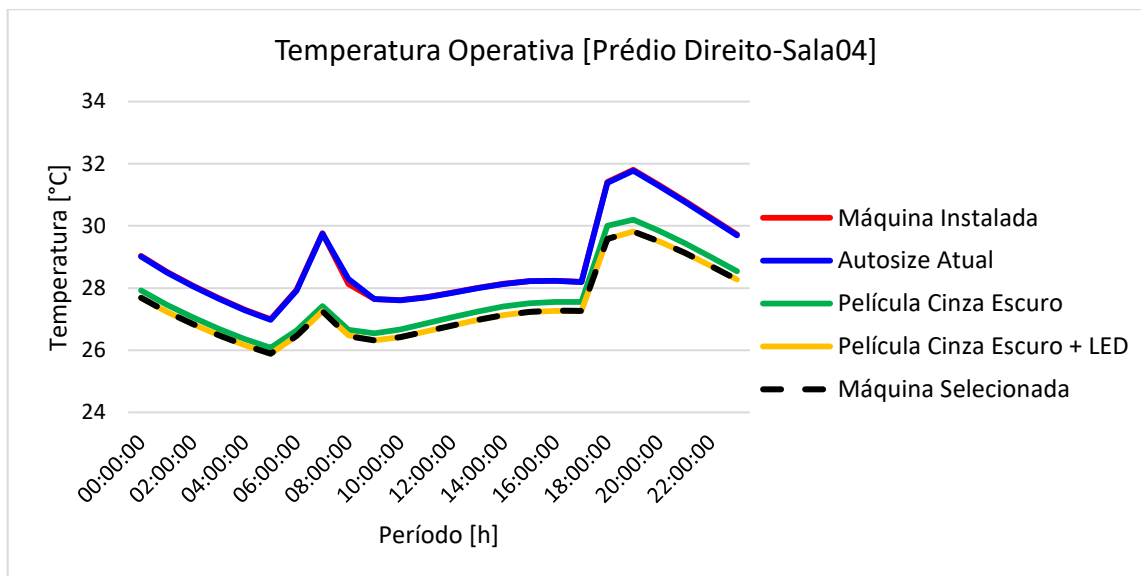
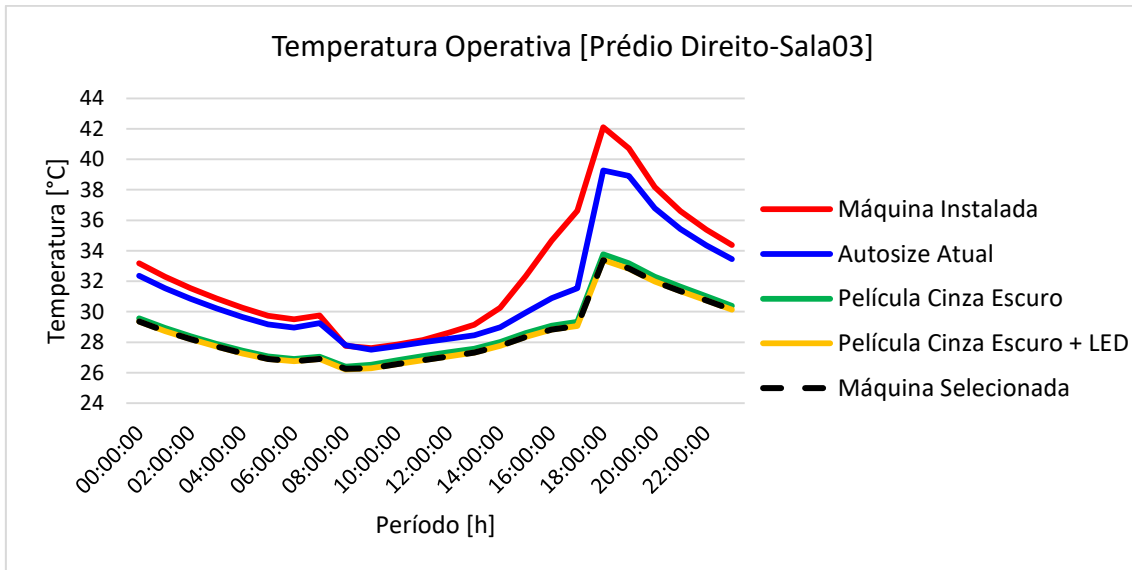
Temperatura Operativa das Zonas – Prédio Administrativo

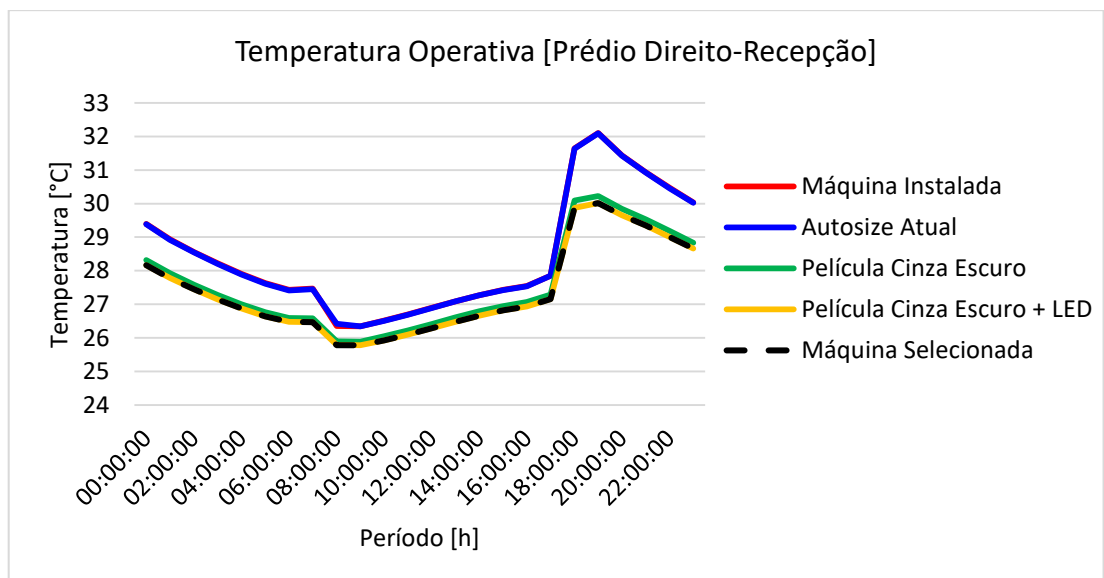
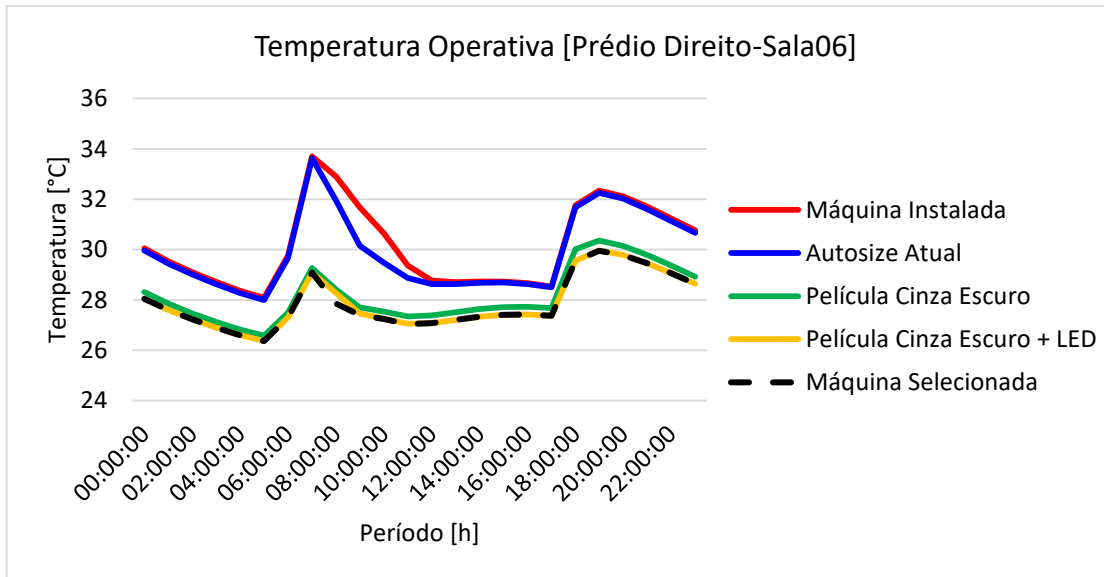




Temperatura Operativa das Zonas – Prédio Direito

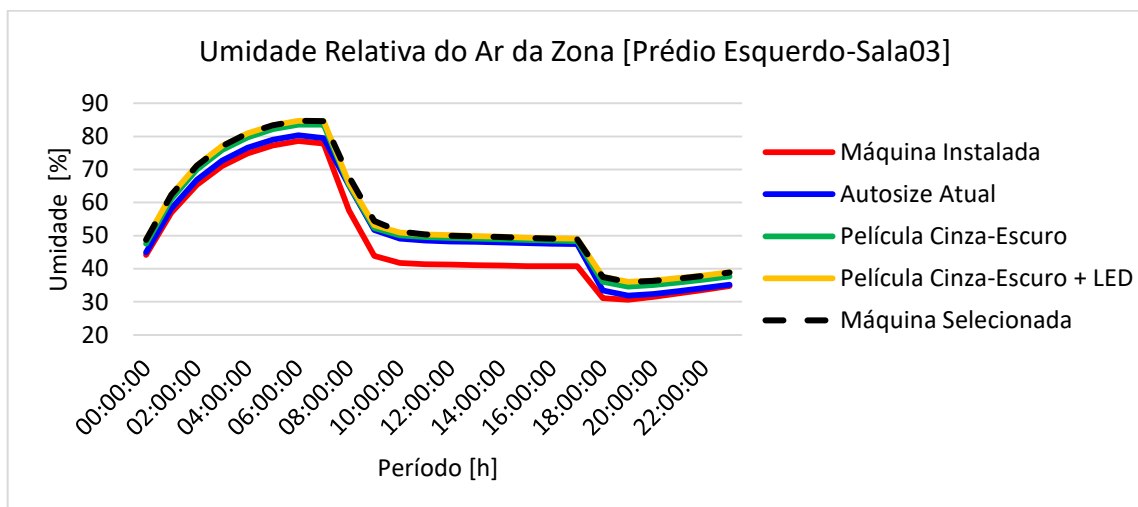
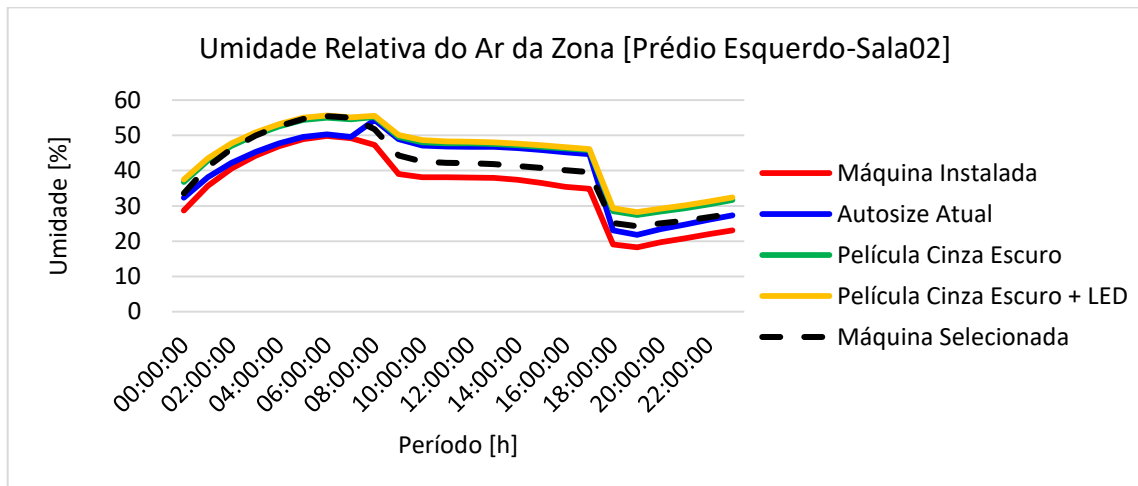
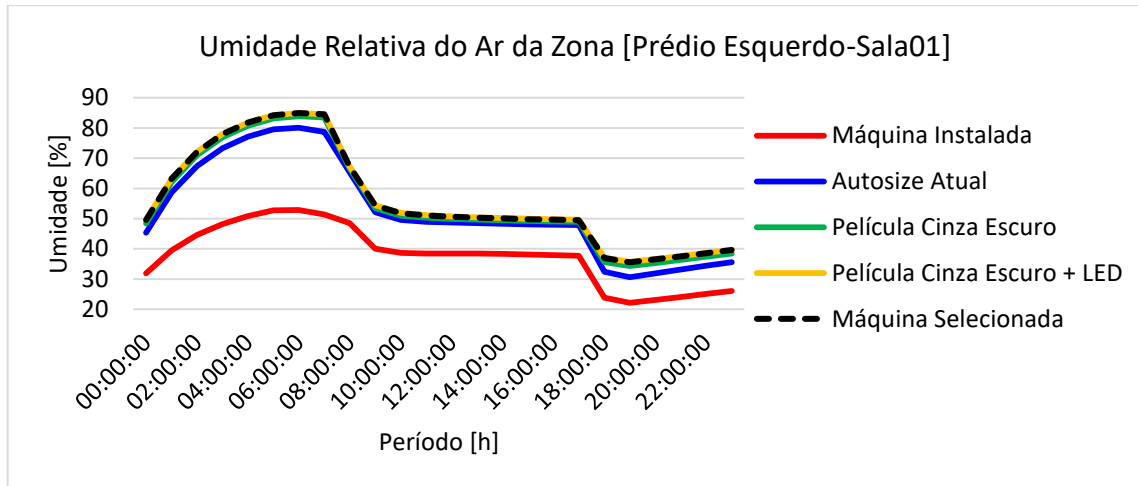


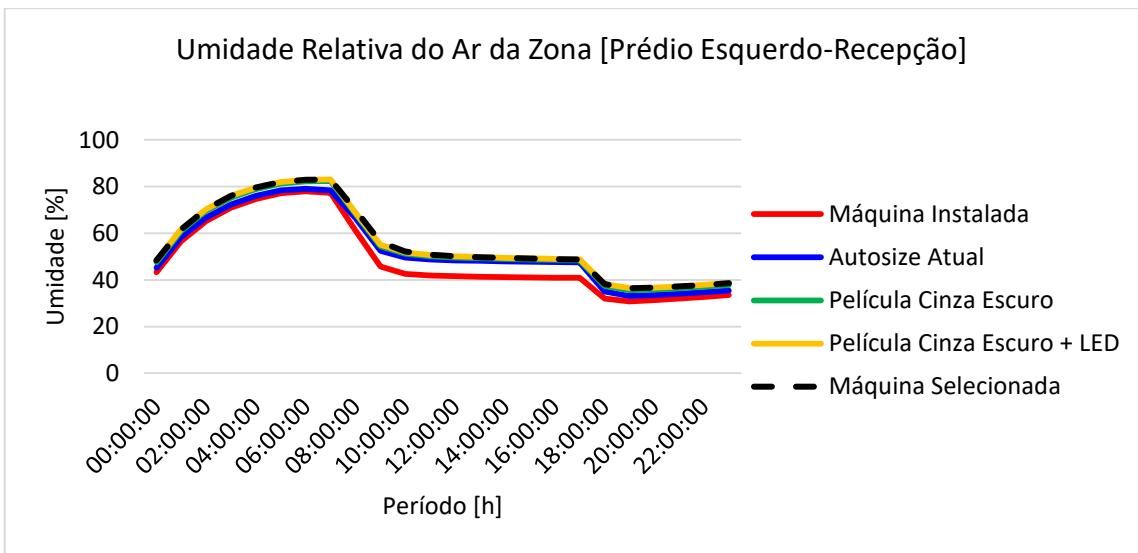
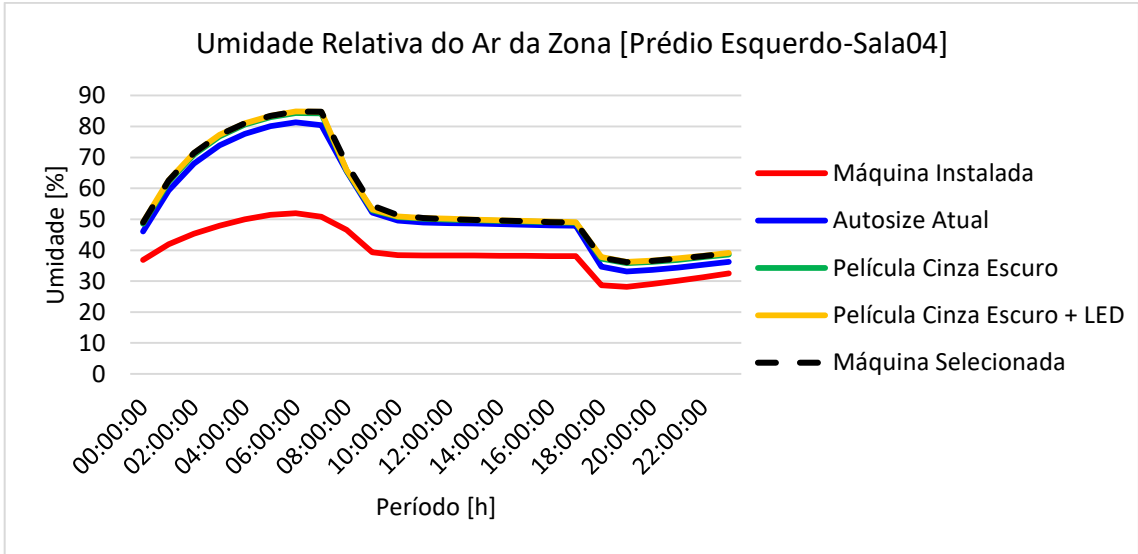




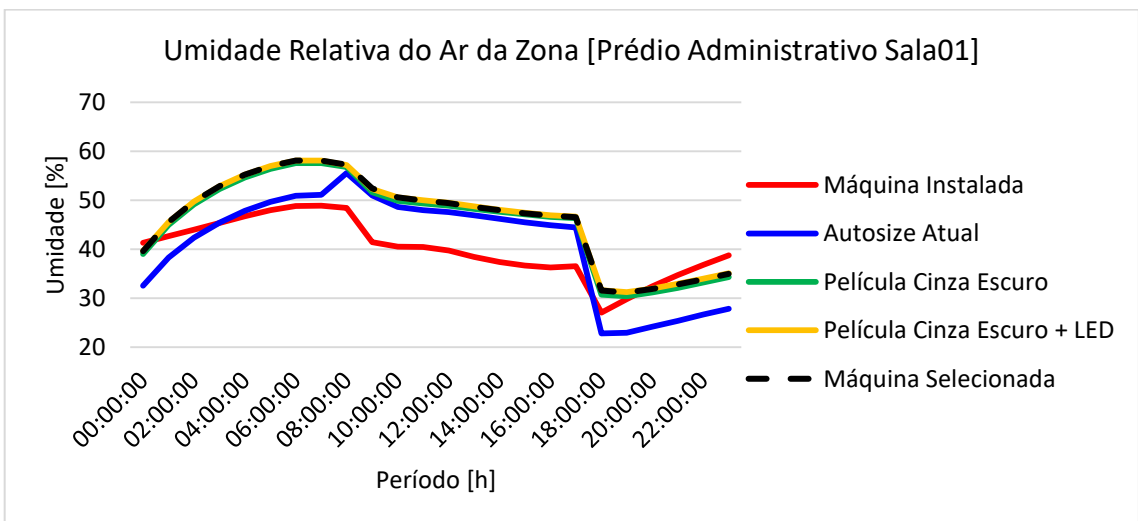
APÊNDICE D – Umidade Relativa do Ar das Zonas

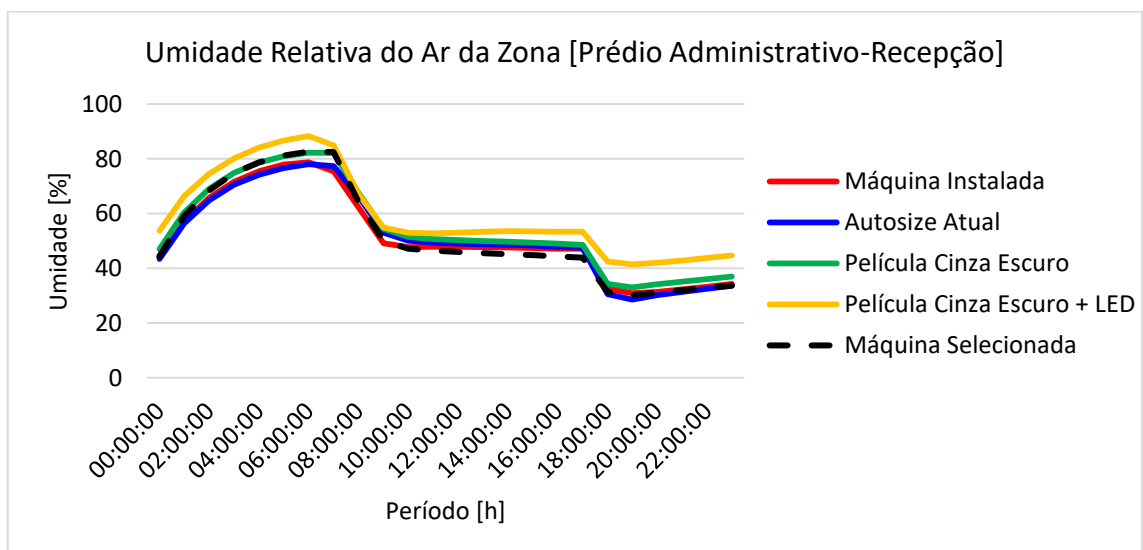
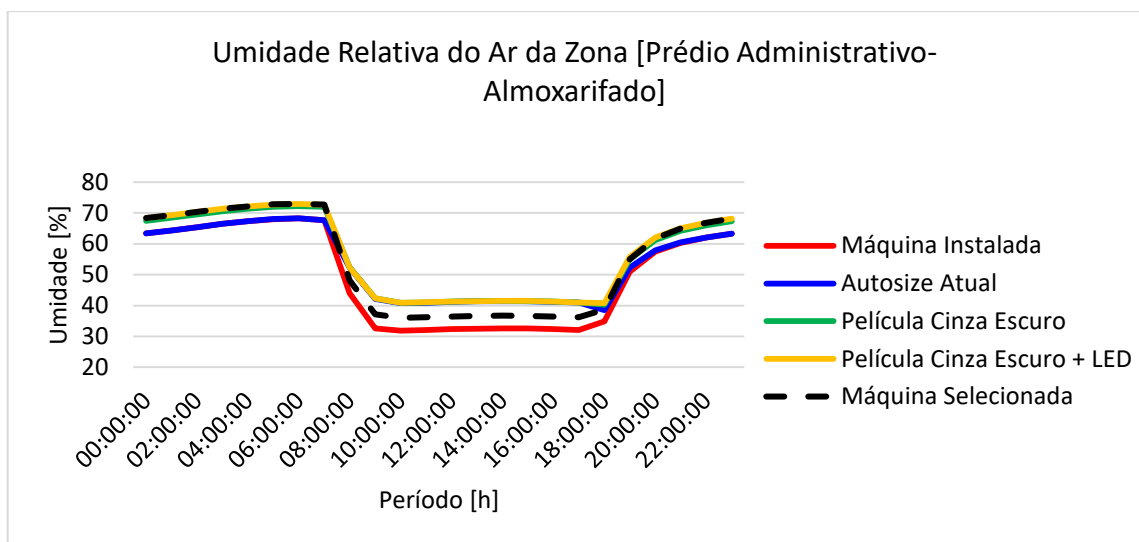
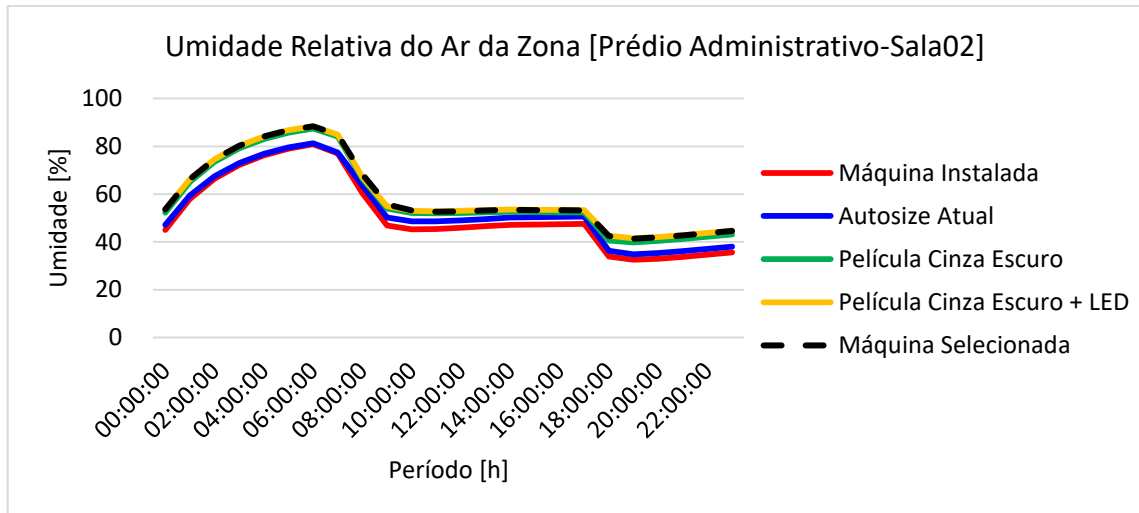
Umidade Relativa do Ar das Zonas – Prédio Esquerdo





Umidade Relativa do Ar das Zonas – Prédio Administrativo





Umidade Relativa do Ar da Zona – Prédio Direito

