

# ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DA ENGENHARIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COM *SOFTWARE ENERGYPLUS*

Diogo de Oliveira de Rosso<sup>1</sup>

Adriano Carotenuto<sup>2</sup>

30 Junho de 2023

## Resumo

Nos últimos anos, a população brasileira vem sofrendo de subsequentes aumentos das tarifas energéticas, em paralelo a isso, a importância do desenvolvimento de projetos mais eficientes no parâmetro energético, torna-se cada vez mais indispensável. No presente trabalho, é realizada uma simulação computacional, utilizando o *software* EnergyPlus 9.4.0, da edificação do laboratório de engenharia elétrica da Universidade Federal do Pampa, situado em Alegrete. O objetivo do estudo é simular o desempenho termoenergético do prédio, a fim de destacar as potências corretas, para um conforto térmico, na refrigeração e também para o aquecimento nas seções climatizadas de um sistema PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*); em seguida, comparar com os resultados obtidos para um sistema de refrigeração do tipo VRV (Vazão de Refrigerante Variável). Os dias de projeto  $T_{bs}$  e  $T_{bu}$  são classificados pelos parâmetros psicrométricos e calculados nos quatro meses de verão para os dias: 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março, para o inverno o dia de projeto foi 21 de julho, o arquivo climático utilizado foi da cidade de Alegrete/RS disponibilizado pelo INMET 2016. Dando sequência, são propostas melhorias no envelope da edificação, com intenção de diminuir o consumo de energia do sistema de refrigeração e no consumo de energia elétrica total da edificação. Portanto, por meio de comparações dos consumos de energia elétrica dos sistemas VRV e PTHP, foi apurado que o sistema VRV resultou em um consumo anual de 24,37% menor que o sistema PTHP.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, EnergyPlus, VRV

## Abstract

In recent years, the Brazilian population has been suffering from subsequent increases in energy tariffs, in parallel with this, the importance of developing more efficient projects in terms of energy has become increasingly indispensable. In the present work, a computational simulation is carried out, using the EnergyPlus 9.4.0 software, of the building of the electrical engineering laboratory of the Federal University of Pampa, located in Alegrete. The objective of the study is to simulate the thermoenergetic

<sup>1</sup> Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA – [diogorosso.aluno@unipampa.edu.br](mailto:diogorosso.aluno@unipampa.edu.br)

<sup>2</sup> Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA – [adrianocarotenuto@unipampa.edu.br](mailto:adrianocarotenuto@unipampa.edu.br)

performance of the building, in order to highlight the correct powers, for thermal comfort, in refrigeration and also for heating in the climatized sections of a PTHP (Packaged Terminal Heat Pump) system; then compare with the results obtained for a VRF (Variable Refrigerant Flow) refrigeration system. The design days Tbs and Tbu are classified by the psychrometric parameters and calculated in the 4 summer months for the days: December 21st, January 21st, February 21st and March 21st, for the winter the design day was July 21st, the climate file used was from the city of Alegrete/RS made available by INMET 2016. Following, improvements are proposed in the envelope of the building, with the intention of reducing the energy consumption of the cooling system and the total electrical energy consumption of the building. Therefore, through comparisons of the electricity consumption of the VRF and PTHP systems, it was found that the VRF system resulted in an annual consumption of 24.37% less than the PTHP system.

**Keywords:** Energy Efficiency, EnergyPlus, VRF

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o consumo de energia teve um acréscimo de aproximadamente 4,4% do ano de 2021 comparado com 2020. A classe do poder público consome cerca de 2,75% da energia total consumida no país, e no mesmo período aumentou seu consumo em 7,4%. Os sistemas de refrigeração por sua vez, possuem um papel muito expressivo no consumo de energia de qualquer edificação; na grande maioria das vezes, os sistemas são instalados sem qualquer dimensionamento, causando um consumo exagerado de energia, ou ainda um desconforto por parte de seus usuários (EPE 2022).

Neste artigo, foi escolhido como alvo do estudo o prédio público da Universidade Federal do Pampa, no qual estão situados os laboratórios e salas de aulas do curso de engenharia elétrica. Edificação está dividida em dois pavimentos, contendo salas climatizadas bem como não climatizadas, com aproximadamente 1165,1m<sup>2</sup> de área total construída, localizada na cidade de Alegrete no estado do Rio Grande do Sul. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivos:

- Comparar as análises referentes ao dimensionamento e consumo de dois sistemas, PTHP (sistema de refrigeração convencional com ciclo reverso, popularmente conhecido como máquinas SPLIT) e VRV (Vazão de Refrigerante Variável) na edificação;
- Analisar o conforto térmico dos ambientes climatizados;
- Propor melhorias, que diminuam o consumo de energia elétrica, procurando manter o conforto térmico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A intenção desta revisão tem como escopo expor o histórico de estudos já realizados que tratam de simulações térmicas e energéticas em edificações diversas, utilizando ferramentas computacionais (EnergyPlus), assim como a explicitação de conceitos necessários para um melhor entendimento do presente estudo.

V. Shabunko et al. (2018), utilizando da ferramenta de simulação EnergyPlus analisou o desempenho energético de 400 edifícios residenciais, em Brunei Darussalam, localizado na ilha de Bornéu, na Ásia. O estudo mostrou que consumo de energia por casa residencial variou de 64,2 kWh/m<sup>2</sup> a cada ano, para o máximo, e para o mínimo de 47,8 kWh/m<sup>2</sup> anuais. Mostrou também a importância da orientação das edificações, chegando a 4% de economia; os efeitos de sombreamento externo chegam a representar 10% de economia.

Da Silva, S. A (2017), através da utilização do *software* EnergyPlus, fez uma análise entre os resultados obtidos através do *software*, sobre o desempenho termoenergético das edificações que integram a Universidade Federal do Pampa, em duas situações, na primeira com lâmpadas fluorescentes e sem películas, e na segunda utilizou lâmpadas de LED juntamente com a utilização de películas cinza escuro. Onde a segunda proposta, resultou em uma redução no consumo elétrico máxima de 5,6%, quando comparado com a simulação utilizando apenas as películas cinza escuro.

Müller, Rafael Walter (2013), objetivou seus estudos, analisando a eficiência energética do projeto de um prédio universitário, fazendo uso dos *software* EnergyPlus e Google Sketchup, a fim de encontrar menor consumo elétrico provenientes das melhorias propostas como vidros duplos na fachada, utilização de películas e controle da iluminação. Müller obteve uma redução de 50% no consumo elétrico do sistema condicionador de ar, em paralelo a isto 22,5% no consumo total de energia da edificação.

Souza, W. B. (2010), verificou que para uma edificação com fachadas em diversas orientações, podem existir zonas com necessidades de refrigeração, mesmo nos meses de inverno; devido à alta incidência solar, o sistema de água gelada operou em capacidade total, assim inviabilizando a aplicação devido ao alto consumo. Portanto, uma melhor eficiência energética de aproximadamente 22,4%, por parte do sistema VRV, faz com que este sistema seja uma melhor opção.

Pozza, F. (2011), equipara o consumo de energia para uma edificação residencial de dois tipos de sistemas, PTHP (Bomba de calor compacta) e VRV (Vazão de Refrigerante Variável), juntamente com melhorias no envelope da edificação, como isolamento térmico das paredes e teto, vidros e implementação de venezianas. Logo, apresentou uma economia energética por parte do sistema VRV

de 32,8%. A eficiência energética fundamenta-se em práticas que tem por finalidade, reduzir o consumo de energia, ou aumentar a capacidade de aproveitamento da mesma.

Elementos que influenciam no valor/cálculo da carga térmica de uma determinada zona, como a variação na absorção de calor, pelo ambiente que virá a ser climatizado, estão ligados diretamente aos elementos construtivos da edificação, bem como todos fatores que integram a sua envoltória. Como mencionado anteriormente, equipamentos elétricos, iluminação elétrica, número de pessoas, atividades desenvolvidas por elas, infiltrações bem como a localização geográfica da edificação, são fatores que influenciam na determinação da carga térmica de uma zona qualquer. Tendo em vista o alto potencial do *software* EnergyPlus, pode ser afirmado que quanto mais informações forem dispostas, em relação aos materiais e demais elementos citados neste parágrafo, melhor e mais precisa será a aproximação do valor de carga térmica real de cada zona simulada.

O conceito de conforto térmico pode ser analisado de diversas visões, segundo ABNT (Projeto 02:135.07-001, 2003) a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, definem o ambiente como confortável termicamente. Outra visão do conforto térmico, discutida por muitos estudiosos, desta vez de um ponto de vista mais fisiológico, é de que a condição de conforto térmico é obtida, quando o ambiente se encontra em um estado em que o corpo de uma pessoa, nele localizado, está em neutralidade térmica, ou seja, não há troca de calor entre corpo e ambiente climatizado.

Para a parametrização do conceito de conforto térmico, como diz a ASHRAE (2017), são levadas em consideração variáveis como, temperatura operativa, temperatura média do ar do ambiente e a umidade relativa do ar do ambiente. Adotando estudos de câmara climática, a ISO 7730 (2005a), tem como alicerce o método desenvolvido por Fanger (1970), denominado PMV (Voto Médio Previsto ou *Predicted Mean Vote*).

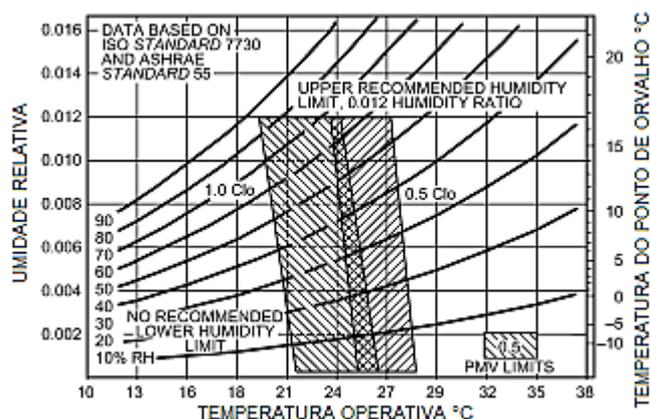


Figura 1- gráfico conforto térmico (ASHRAE 2017)

A temperatura operativa é determinada através da média entre a temperatura média do ar e temperatura média radiante ponderada pelos respectivos coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação.

A edificação tema do presente estudo, atualmente encontra-se com sistemas de condicionamento de ar do tipo PTHP (Bomba de calor compacta). É importante salientar que nesta modalidade de climatização nem todas as salas estão climatizadas. Este tipo de condicionador de ar, tem como característica principal a existência de uma unidade externa para cada unidade interna. Logo, é possível afirmar que algumas zonas necessitarão de mais de uma unidade interna e a mesma quantidade de unidades externas, devido a uma limitação deste tipo de máquina.

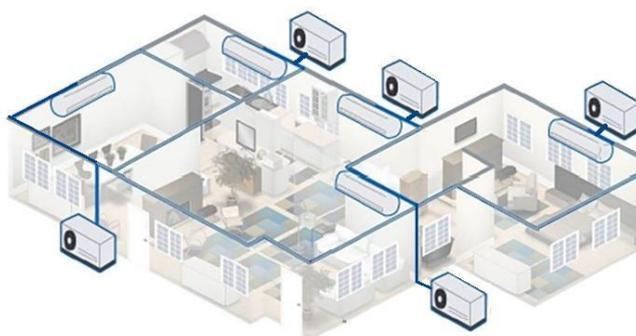


Figura 2 - Sistema PTHP FONTE: adaptada de [revistadofrio.com.br](http://revistadofrio.com.br)

A simulação também será realizada para o sistema do tipo VRV, o qual foi dividido em dois sistemas, um para o primeiro pavimento e outro para o segundo pavimento da edificação. O modelo do tipo VRV tem por característica principal o tratamento diferenciado da vazão do fluido refrigerante, o qual é variado conforme a necessidade térmica do ambiente; a variação na vazão é realizada pela unidade externa de climatização, atendendo a diferentes zonas com necessidades distintas. Outra característica é utilização de apenas uma unidade externa para múltiplas unidades internas.

As unidades internas e externas são interligadas por dutos de fluido refrigerante, que são responsáveis pela climatização do ar entregue pela unidade interna. Na Figura 3, as unidades internas são representadas pelas ilustrações com as cores azul e vermelho dentro dos ambientes; as cores representam as diferentes necessidades de cada zona térmica; a máquina externa é representada pela única ilustração fora dos ambientes.

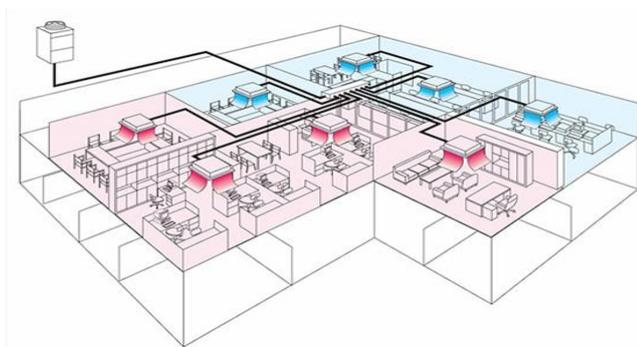


Figura 3 - Sistema VRF FONTE: adaptada de [www.climatis.com.br](http://www.climatis.com.br)

Os sistemas são compostos por unidades que utilizam a serpentina para condicionar diretamente o ar insuflado no ambiente, através do uso de gases refrigerantes, são denominados do tipo expansão direta. Os equipamentos mais comuns desse tipo de sistema são os condicionadores PTHP e VRV. Normalmente o sistema do tipo PTHP é o mais típico em edificações residenciais, comerciais e institucionais, somente por ser de fácil e rápida instalação. Embora a grande diferença entre esses sistemas seja a relação entre unidades internas e externas, outra diferença é na vazão do gás refrigerante utilizada, onde para o PTHP é constante e para VRV é variável.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente artigo foi sintetizada em basicamente seis etapas importantes, as quais são mostradas a seguir em ordem de apresentação.

- Levantamento dos parâmetros construtivos;
- Ocupação (*Schedule*);
- Identificação de cargas internas;
- Identificação de cargas externas;
- Sistemas de climatização;
- Simulações;
  - ✓ Simulação 1- (*Autosize Ideal Load Air System*);
  - ✓ Simulação 2- PTHP Instaladas;
  - ✓ Simulação 3- PTHP *Autosize*;
  - ✓ Simulação 4- PTHP Proposto;
  - ✓ Simulação 5- VRV *Autosize*;
  - ✓ Simulação 6- VRV Proposto;
- Análise dos Resultados.

#### 3.1. LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS

A edificação, tema do presente estudo, é o um prédio público localizado na cidade de Alegrete/RS, composto por 17 zonas, das quais 15 são de ocupação; essas do tipo salas de aula, salas de técnicos, salas de pesquisa e laboratórios distribuídas em dois pavimentos, somando então um total de 1165 m<sup>2</sup>, na Tabela A.1 (Apêndice A) encontram-se as descrições de cada zona.

Como pode ser visto na Figura 4, além da orientação disposta no mapa, o prédio é composto por dois blocos, no qual apenas um deles será tema do atual artigo; este prédio está destinado aos

equipamentos e finalidades do curso de engenharia elétrica do campus da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

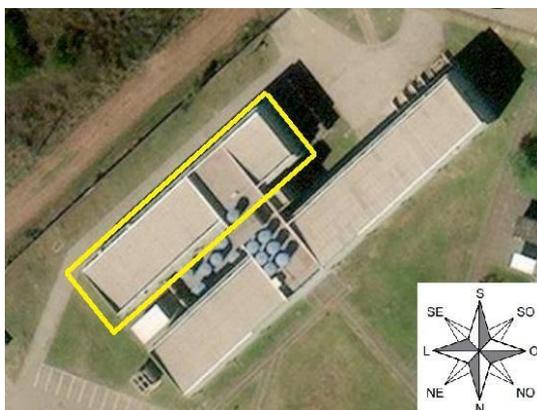


Figura 4- Vista aérea (a) de satélite (Adaptado de Google Maps, 2023)

Nessa etapa, foram levantadas as características necessárias para construção do modelo, tendo como fonte de informação os arquivos da planta baixa da edificação e memorial descritivo; junto disso também foram realizadas vistorias na edificação. Feito isso, munido de todas informações obtidas e confirmações das características, tornou-se possível especificar as cores das superfícies, suas espessuras, materiais, propriedades termofísicas, superfícies sombreadas, bem como as geometrias gerais.

As zonas demarcadas em vermelho foram construídas fora do projeto original, onde se viu necessidade de mais divisões por parte dos responsáveis pela edificação. A construção possui pé direito de 3,45 m para toda a edificação. A fachada frontal é disposta geograficamente para o noroeste.

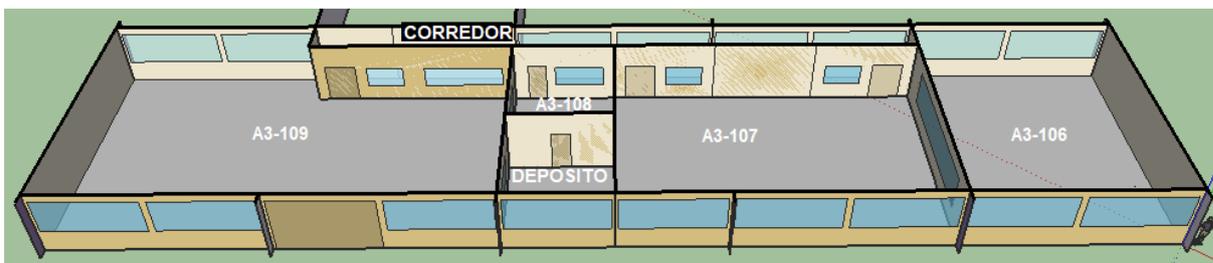


Figura 5- 1º Pavimento

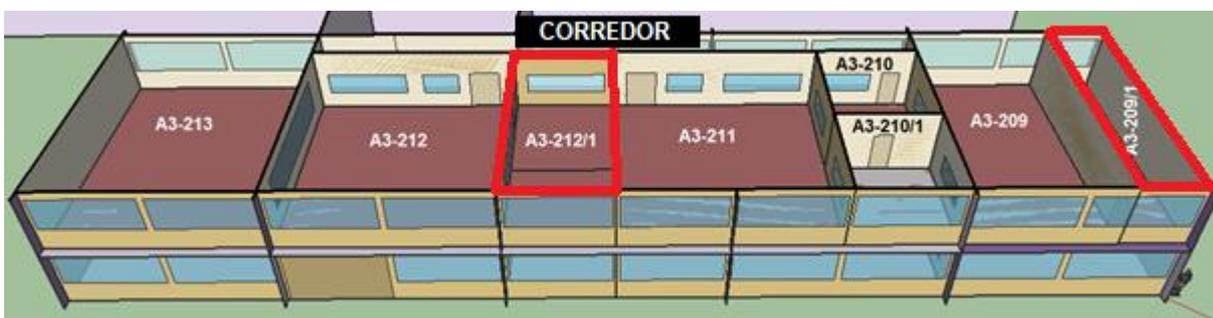


Figura 6 - 2º Pavimento

De posse das informações necessárias, foi possível criar um modelo tridimensional que chegasse bem próximo da realidade da construção existente. As zonas térmicas são descritas de maneira

individual, assim podendo ser estabelecidas com um volume de ar com temperatura homogênea, composto de aberturas (portas e janelas), cobertura e assoalho (EnergyPlus Essentials, 2020). A climatização atual das zonas do primeiro pavimento só é existente nas zonas A3-107 e A3-108; da mesma forma para o segundo pavimento, somente duas zonas não são climatizadas, são elas A3-210 e A3-211.

A Figura 7 demonstra a vista da fachada sudeste (posterior) do modelo tridimensional desenvolvido através do *software* Sketchup. A Figura 7 (b) mostra de maneira geral as zonas térmicas existentes no modelamento do prédio. Logo, na Figura 7 (c), é apresentada a perspectiva da vista frontal (noroeste) do prédio, bem como o sombreamento causado pelo bloco comum ao do presente estudo, sombreamento este de grandeza considerável.

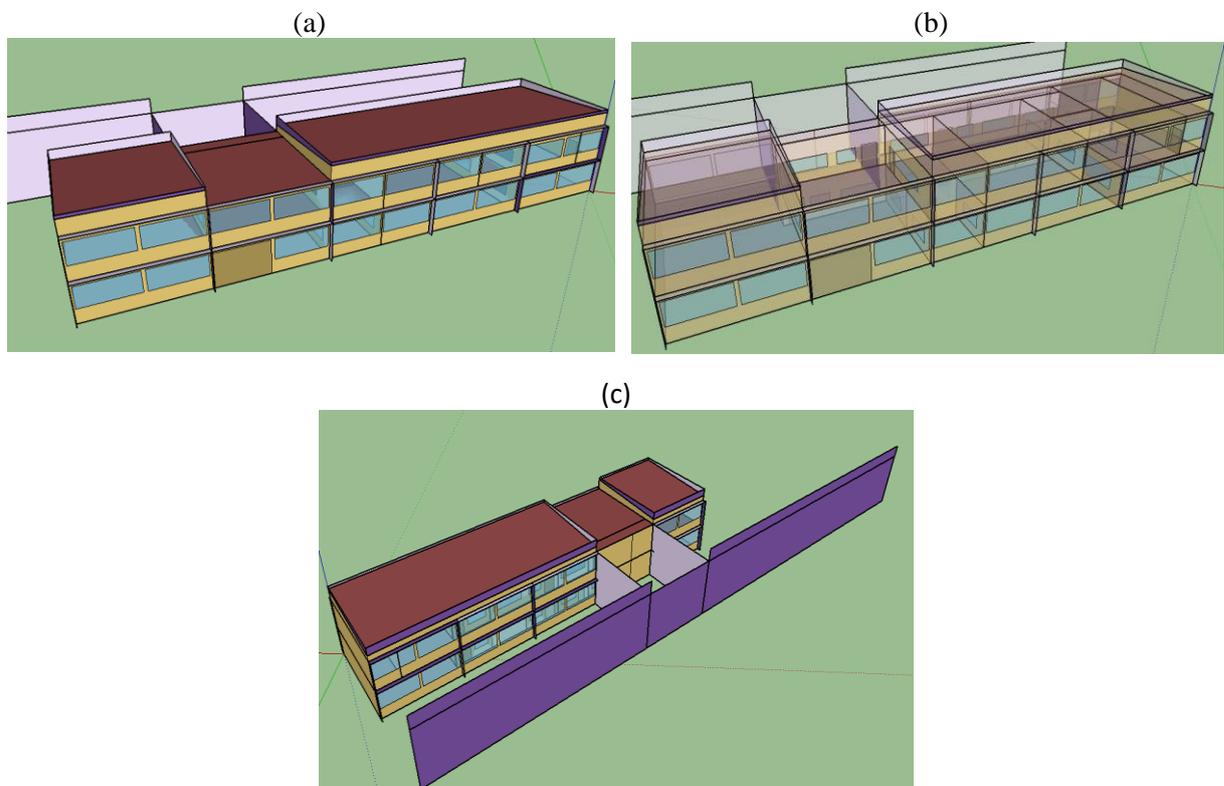


Figura 7 - (a) demonstração modelo fachada sudeste, (b) zoneamento do modelo e vista frontal (c) projetado sketup.

Os componentes construtivos da edificação, tais eles como paredes, pisos, divisórias, forros, e coberturas são catalogados com base nas propriedades termofísicas dos materiais construtivos. A Tabela A. 2 (Apêndice A) expõe os materiais e suas dimensões bem como suas demais propriedades.

Evidenciando, na sequência, as aberturas da construção, é importante ressaltar que as mesmas foram consideradas sempre fechadas. Entretanto, em um primeiro momento na elaboração do modelo computacional, a configuração de uma porta comum a dois ambientes, A3-210 e A3-210/1, foi configurada com a propriedade *Air Boundary*, a qual tem o papel de desprezar a resistência térmica que qualquer material viria a ter. Com essa configuração os ambientes continuam com a evolução livre da temperatura e climatizado, possibilitando troca térmica agora com uma camada de ar como fronteira.

As portas foram divididas em dois grupos, devido às construções que ficaram fora do padrão seguido no projeto arquitetônico, onde duas salas foram criadas extra ao projeto original, o que fez surgir a necessidade de uma segunda configuração de porta. Junto a isso, tem-se um portão, que possui configuração única, aberturas essas dispostas na Tabela A.3 (Apêndice A).

As janelas por sua vez, estão representadas também conforme o projeto arquitetônico disponibilizado. Entretanto, as mesmas foram configuradas de maneira mais simples, considerando a estrutura das janelas toda em vidro, sem esquadrias. Porém, as janelas são separadas em externa e interna, onde as janelas internas por sua vez possuem duas configurações de materiais mostradas na Tabela A.4 (Apêndice A).

Ainda sobre as janelas, é importante dizer que nem todos ambientes possuíam cortinas, a Tabela A.5 (Apêndice A) mostra as propriedades das mesmas.

### 3.2. OCUPAÇÃO (*SCHEDULE*)

Os schedules permitem o programador designar diversos horários de funcionamento e ocupação das salas, entre eles foram utilizados neste estudo, os sistemas que delimitam horários de funcionamento da iluminação, da climatização, uso de cortinas, renovação de ar, infiltrações; inclui também o uso dos equipamentos internos e principalmente a quantidade de pessoas; os mesmos são separados em *schedule* diário, semanal e anual.

Portanto, foram desenvolvidos procurando chegar o mais próximo da ocupação real do local e para o caso de maior demanda. Logo, a Tabela 1 mostra como foram consideradas as ocupações, bem como a utilização de iluminação, equipamentos e do sistema de climatização.

Tabela 1 – Padrão de funcionamento do prédio

Dias de semana					
Horário início	Horário fim	Ocupação	Ar condicionado	Equipamentos	Iluminação
00:00	7:00	0%	0%	0%	0%
7:00	12:00	100%	100%	100%	100%
12:00	13:00	50%	100%	50%	100%
13:00	18:00	100%	100%	100%	100%
18:00	20:00	50%	100%	50%	100%
20:00	00:00	0%	0%	0%	0%
Finais de semana e Feriados					
00:00	7:00	0%	0%	0%	0%
7:00	12:00	0%	0%	0%	0%
12:00	13:00	0%	0%	0%	0%
13:00	18:00	0%	0%	0%	0%
18:00	20:00	0%	0%	0%	0%
20:00	00:00	0%	0%	0%	0%

### 3.3. IDENTIFICAÇÃO DE CARGAS INTERNAS

As cargas internas são basicamente calor adicionado ao volume de ar referente a cada zona térmica, calor esse proveniente dos equipamentos elétricos, pela iluminação e também devido à

ocupação e as atividades desenvolvidas. Cargas essas que influenciam na determinação das propriedades termofísicas das zonas e por sua vez o alcance do conforto térmico desejável.

Na Tabela 2, estão expostos os dados referentes à potência total de ocupação, equipamentos e iluminação dos dois pavimentos da edificação. A ocupação referente a cada zona térmica está exposta na Tabela B.1 (Apêndice B), onde os dados levantados foram através de visitas e entrevistas com os ocupantes de cada zona, são eles a quantidade de pessoas ocupantes de cada zona em questão, bem como a atividade já mencionada anteriormente.

Tabela 2 – Potências de Equipamentos, Iluminação e Ocupação por Pavimento.

Pavimento	Potência dos Equipamento (W)	Potência de Iluminação (W)	Potência de Ocupação(W)
1º Pavimento	12208	4416	8840
2º Pavimento	20963	4096	11050

Para este fim, foram levantados os dados das lâmpadas usadas na edificação, a qual foram encontradas lâmpadas do tipo LED em todas as zonas. Os sistemas de iluminação, que integram atualmente a edificação, são compostos de luminárias fixas ao teto, contendo elas duas lâmpadas do tipo bastão, com potência de 16W cada uma. A Tabela B.2 (Apêndice B) mostra a quantidade de luminárias por ambiente, bem como a potência de cada uma.

A partir de visitas, foi feito um levantamento dos equipamentos instalados em cada zona da edificação. Portanto, para os equipamentos existentes foram levantados valores de potência para cada um, com base em pesquisa realizada no manual ASHRAE (2017). A Tabela B.3 (Apêndice B) exhibe os valores de potência de cada equipamento, bem como a disposição dos mesmos e suas referentes zonas.

Sobre as atividades executadas nos ambientes, foram adotadas atividades referentes às comuns em escritórios, com valor definido em 130 W (70 de calor sensível e 45 de calor latente).

#### 3.4. IDENTIFICAÇÃO DE CARGAS EXTERNAS

Destaca-se a importância dos dados meteorológicos representados pelos dias de projeto e pelo arquivo climático local; estes com grande influência nos resultados devido ao envelope ser suscetível às propriedades meteorológicas. Os arquivos são utilizados em formato EPW (EnergyPlus Weather); as informações neste formato, são específicas para uso no programa e seus dados indispensáveis para realização da simulação.

O arquivo climático possui informações importantes para o cálculo do consumo de energia dos sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação juntamente com outros sistemas contidos na edificação, como o conjunto de equipamentos e iluminação. Os dados são levantados por meio de estações meteorológicas durante um período mínimo de 10 anos. Seguidamente eles são tratados estatisticamente para chegar aos 12 meses que mais representam o comportamento climático da região em questão. Portanto, originando informações da cidade como, temperatura de bulbo seco, temperatura

de bulbo úmido, temperatura de ponto de orvalho, umidade, direção e velocidade do vento, para várias frequências de ocorrência do ano. Neste estudo, foram utilizados os arquivos climáticos INMET 2016 da cidade de Alegrete/RS disponibilizados por (LABEE 2021).

Os dias de projeto servem para dimensionar as potências de refrigeração e aquecimento da edificação em questão. As condições dos dias de projeto de verão são tomadas a partir dos dados de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e umidade absoluta. A frequência de ocorrência das condições é definida cumulativamente em 0,4% do total de 8760 horas anuais para o verão. Para o inverno, a metodologia é semelhante à adotada para o verão, porém a frequência de ocorrência destas condições é definida cumulativamente em 99,6% do total de 8760 horas anuais.

Em virtude da cidade de Alegrete/RS não possuir uma base de dados meteorológicos, foram utilizados os dados disponibilizados por ASHRAE (2021) cidade de Artigas no Uruguai. Esta cidade está situada a aproximadamente 97 km de distância, grandeza essa considerada relativamente curta, tratando-se de dados meteorológicos. Logo, na Tabela 3, mostra-se a similaridade entre as duas cidades.

Tabela 3 – Localização geográfica das cidades.

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

Para os dias de projeto de verão, serão utilizados os seguintes parâmetros: temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ), média coincidente de temperatura de bulbo seco ( $MT_{bs}$ ), temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ), média coincidente de temperatura de bulbo úmido ( $MT_{bu}$ ), bem como de umidade absoluta (W). Foram determinados os dias 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março como os dias referentes ao verão, onde os parâmetros são dispostos nas Tabelas abaixo (4, 5, 6).

Tabela 4- Dias de projeto Verão  $T_{bs}$

Dia de projeto	$T_{bs}$ [°C]	$MT_{bu}$ [°C]	$\Delta T_{bs}$ [°C]	$V_{med}$ [m/s]	$Dir_{vento}$ [°]
21/12	35,7	23,0	12,1	3,9	330
21/01	35,7	23,0	12,0	3,9	330
21/02	35,7	23,0	10,6	3,9	330
21/03	35,7	23,0	10,9	3,9	330

Tabela 5- Dias de projeto Verão  $T_{bu}$

Dia de projeto	$T_{bu}$ [°C]	$MT_{bs}$ [°C]	$\Delta T_{bs}$ [°C]	$V_{med}$ [m/s]	$Dir_{vento}$ [°]
21/12	31,7	25,7	8,1	3,9	330
21/01	31,7	25,7	8,0	3,9	330
21/02	31,7	25,7	6,6	3,9	330
21/03	31,7	25,7	6,9	3,9	330

Tabela 6- Dias de projeto Verão W

Dia de projeto	W [ $g_w/kg_a$ ]	$MT_{bs}$ [°C]	$T_{orvalho}$	$\Delta T_{bs}$ [°C]	$V_{med}$ [m/s]	$Dir_{vento}$ [°]
21/12	19,2	29,0	24,1	5,4	3,9	330
21/01	19,2	29,0	24,1	5,3	3,9	330
21/02	19,2	29,0	24,1	3,9	3,9	330
21/03	19,2	29,0	24,1	4,2	3,9	330

Foi determinado o dia 21 de julho, com o céu completamente nublado, como dia de projeto referente ao aquecimento. Suas propriedades específicas são expressas na Tabela 7 a seguir.

Dia de projeto	$T_{bs}$ [°C]	$T_{bu}$ [°C]	$\Delta T_{bs}$ [°C]	UR [%]	$V_{med}$ [m/s]	$Dir_{vento}$ [°]
21/07	0	1	0	100	1,5	120

### 3.5. INFILTRAÇÃO DE AR

A infiltração é a entrada de ar externo para o ambiente interno através de frestas e passagens não intencionais existentes na construção, ou então por meio de abertura e fechamento de portas de acesso. No presente artigo, foi considerado valores iguais a uma troca de ar por hora quando a climatização estiver ligada, ou seja, quando existe ocupação do ambiente, e 0,5 para quando não há ocupação na zona e o sistema de climatização encontra-se desligado, outro ponto importante é a necessidade de um isolamento mais eficaz na zona A3-109, devido a existência de um portão do tipo basculante, para assim manter o valor da taxa de infiltração coerente ao estipulado. A taxa de infiltração de ar (troca de ar por hora) é determinada através da razão entre a vazão volumétrica de ar ( $m^3/s$ ) que entra no ambiente pelo volume interno ( $m^3$ ) deste ambiente, multiplicado por 3600 segundos, portanto a taxa é medida em 1/hora.

### 3.6. SIMULAÇÕES

A Figura 8 representa a sequência que as simulações foram realizadas durante o desenvolvimento do estudo.

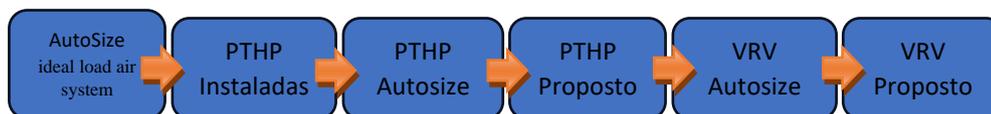


Figura 8 - Fluxograma das Simulações

Primeiramente, a simulação 1 foi realizada para encontrar as cargas ideais de refrigeração e aquecimento para a construção; nesta configuração, o programa não acopla o sistema de refrigeração e as cargas externas são desprezadas. Na sequência, realizou-se a simulação 2 (PTHP Instalada), onde as informações das unidades (máquinas de ar condicionado) foram levantadas através de visitas na edificação. Prosseguindo, executou-se a 3ª simulação (PTHP *autosize*) com intuito de servir como base para comparação com as demais simulações; na configuração *autosize* o programa é responsável por levantar as características das unidades internas como potências de refrigeração, de aquecimento e a vazão de ar necessárias. Logo, foi executada a 4ª simulação (PTHP Proposto), retirando as informações necessárias como potências de refrigeração e vazão, do catálogo da empresa Midea (2022).

Da mesma forma, para o sistema VRV exerceu-se a 5ª simulação (VRV *Autosize*); na sequência, escolheram-se as unidades a partir do catálogo da empresa Midea (2022) para a 6ª simulação (VRV Proposto) a partir das potências obtidas no *autosize*.

As características técnicas oriundas do catálogo em questão, foram introduzidas no *software*, são elas: vazão, potências nominais e COP (Coeficiente de Desempenho ou Performance).

#### 4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Neste segmento, serão apresentados e discutidos os resultados atingidos por meio das simulações:

- Simulação 2 (PTHP instalada);
- Simulação 3 (PTHP *Autosize*);
- Simulação 4 (PTHP Proposto);
- Simulação 5 (VRV *Autosize*);
- Simulação 6 (VRV Proposto).

##### 4.1. POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO E AQUECIMENTO

###### 4.1.1. SISTEMA PTHP

A Figura 9 apresenta o gráfico com as potências de refrigeração e aquecimento para as unidades já instaladas na edificação referente à simulação 2 (PTHP instalado).

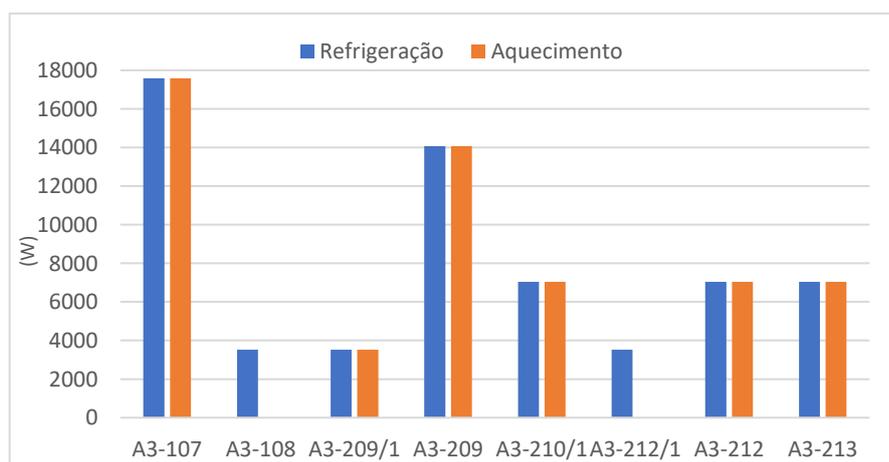


Figura 9 – Potência de Refrigeração e Aquecimento PTHP instalado.

Portanto, para o primeiro pavimento foi possível constatar uma potência de refrigeração total de 21097 W, já para a climatização de inverno o total ficou em 17580 W, pois somente uma sala conta com o equipamento de ciclo reverso. Para o segundo pavimento o total ficou em 42199 W para refrigeração e 38682 W de potência para aquecimento.

Na figura 10, o gráfico mostra as potências extraídas do *software* na configuração *autosize* (simulação 3), onde foi considerado para o dimensionamento, a climatização de todas as zonas do primeiro pavimento exceto apenas para o corredor e depósito; para o segundo pavimento, foi realizado dimensionamento excluindo apenas o corredor. Os dias de projeto de verão para cada zona estão expostos na Tabela C.1, e são eles 21/12(T<sub>bu</sub>), 21/12(W), 21/12(T<sub>bs</sub>) e 21/03(T<sub>bs</sub>).

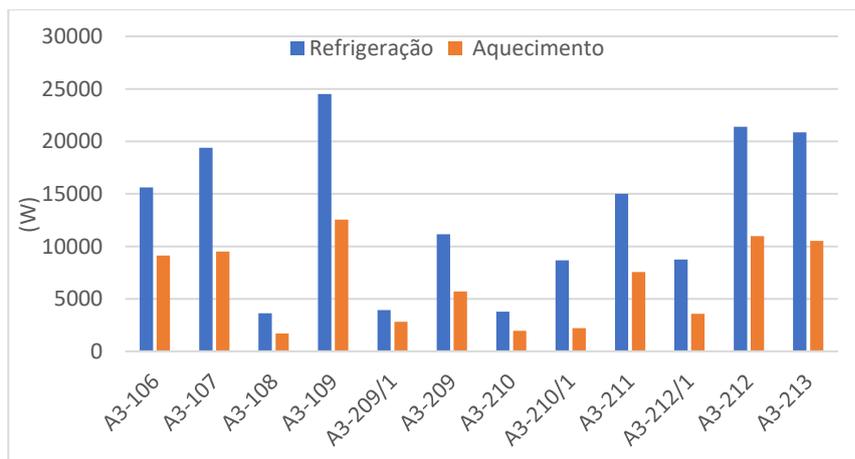


Figura 10 – Potência de refrigeração e aquecimento PTHP autosize.

A Figura 11 mostra a comparação das potências da simulação 2 (PTHP Instaladas) e da simulação 4 (PTHP Proposto); a Tabela 8 mostra as potências das unidades selecionadas em catálogo. O objetivo é também a escolha do melhor conjunto de máquinas que mais se aproxima da configuração em *autosize* e que atendam o conforto térmico. A Tabela C.2 (Apêndice C) mostra também a quantidade de unidades internas por zona, suas respectivas potências.

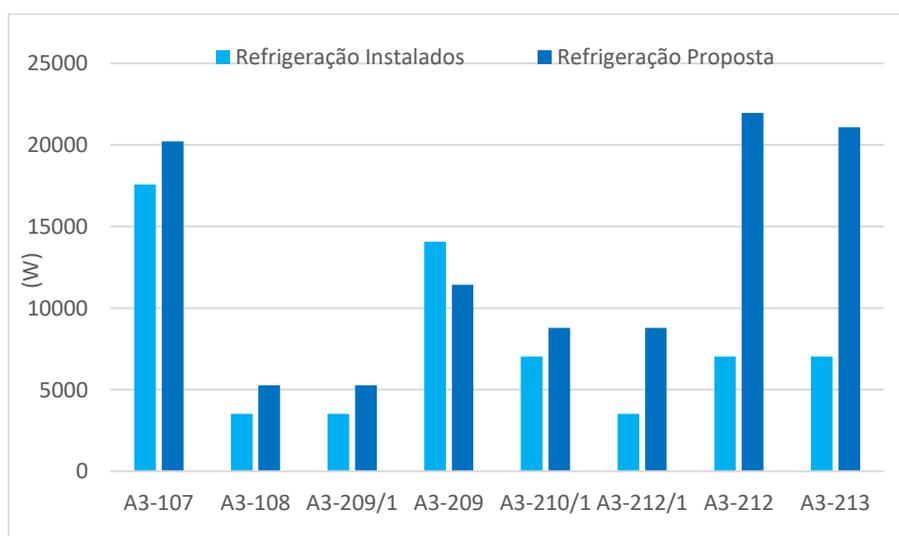


Figura 11 – Potência de refrigeração para PTHP Instaladas X PTHP Proposto.

Tabela 8 – Valores de Refrigeração e Aquecimento para máquinas do sistema PTHP proposto

Zona	Capacidade Refrigeração(W)	Capacidade Aquecimento(W)	Capacidade Pavimentos	Vazão (m³/s)
A3-106	15810	15810	1º Pavimento 67067	0,667
A3-107	20222	20222		0,886
A3-108	5275	5275		0,222
A3-109	25760	25760		1,156
A3-209/1	5270	5270		0,222
A3-209	11430	11430	2º Pavimento 98400	0,508
A3-210	5270	5270		0,222
A3-210/1	8790	8790		0,378
A3-211	15810	15810		0,667
A3-212/1	8790	8790		0,378
A3-212	21960	21960		0,997
A3-213	21080	21080		0,889

Pode-se observar na Figura 10 que a maior potência necessária é por parte do sistema de refrigeração para os dois pavimentos. Portanto, a simulação 4 (PTHP Proposto), exibida por meio da Figura 11, juntamente com a Tabela 8, mostra para o primeiro pavimento a potência total de refrigeração de 67067 W, valor que também remete à potência de aquecimento. No segundo pavimento, o valor de 98400 W para refrigeração e aquecimento; onde notou-se uma diferença significativa nas salas A3-212/1, A3-212 e A3-213 entre as simulações 2 e 4, fato esse que constata a insuficiência por parte do sistema adotado na simulação 2 (PTHP instalada).

#### 4.1.2.SISTEMA VRV

O sistema do tipo VRV, por sua vez, pode apresentar para uma mesma configuração de zonas climatizadas, um melhor arranjo de unidades internas e externas devido sua maior capacidade das unidades internas e menor número de unidades externas. Na Figura 12, são apresentados os valores da simulação 5 (VRV *autosize*) para refrigeração e aquecimento das unidades internas. Para grande parte das zonas térmicas o dia de projeto, que resultou na maior exigência das unidades, foi 21/12( $T_{bu}$ ) como mostra a Tabela C.3.

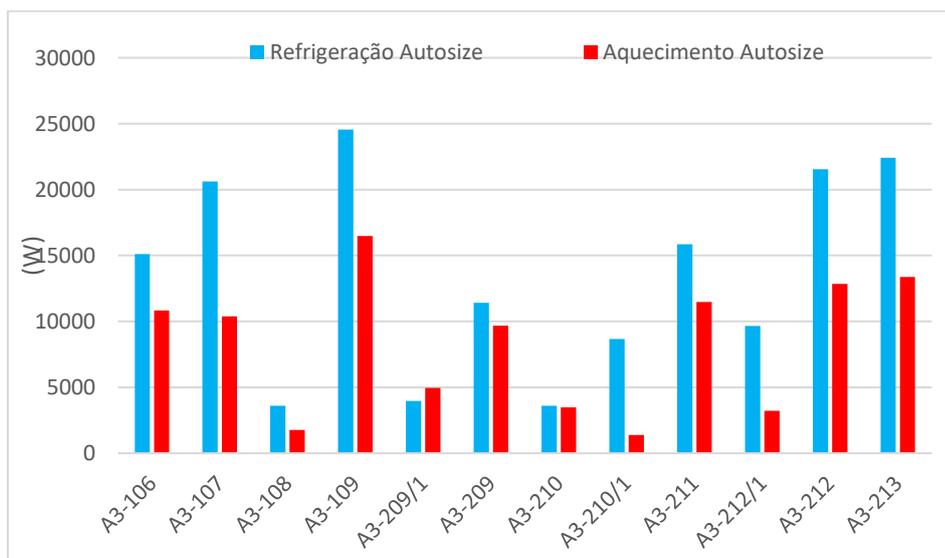


Figura 12 – Potência de refrigeração e aquecimento VRV AUTOSIZE.

A Tabela 9 exibe para cada uma das zonas térmicas a capacidade de refrigeração, de aquecimento e vazões referentes às máquinas internas; juntamente com as potências de refrigeração e aquecimento das unidades externas e suas vazões, dados estes referentes a simulação 6 (VRV Proposto). Ainda na Tabela C.4 é exibida a quantidade de unidades internas para cada zona, bem como suas respectivas potências.

Tabela 9 – Potência das máquinas selecionadas VRV Proposto

Zona	Refrigeração (W)	Aquecimento (W)	Vazão (m³/s)	Máq. Externas (Ref./Aquec.)	Vazão (m³/s)
A3-106	15300	17000	0,681	67000 / 67000	6,94
A3-107	20700	23000	0,903		
A3-108	3600	4000	0,153		
A3-109	24300	27300	0,666		
A3-209/1	4500	5000	0,222	101500 / 101500	8,33
A3-209	12600	14000	0,597		
A3-210	3600	4000	0,153		
A3-210/1	9000	10000	0,444		
A3-211	16400	18300	0,612		
A3-212/1	10700	12000	0,375		
A3-212	22400	25200	0,888		
A3-213	22300	25000	0,819		

A Figura 13 exibe o gráfico, onde é mostrada a evolução da máxima potência de refrigeração ao longo do dia de projeto 21/12(T<sub>bu</sub>) de cada zona térmica do 1º pavimento e a soma das potências de todas as zonas, identificando o horário de maior exigência das unidades. Essa análise serve para dimensionar a potência de refrigeração da unidade externa que vai atender o pavimento em questão. Verifica-se que o pico máximo de potência de refrigeração ocorre no período em que se inicia o funcionamento diário da edificação, onde somados totalizam 63905 W para refrigeração. A Figura C.14 (Apêndice C) detalha o gráfico para o 2º pavimento.

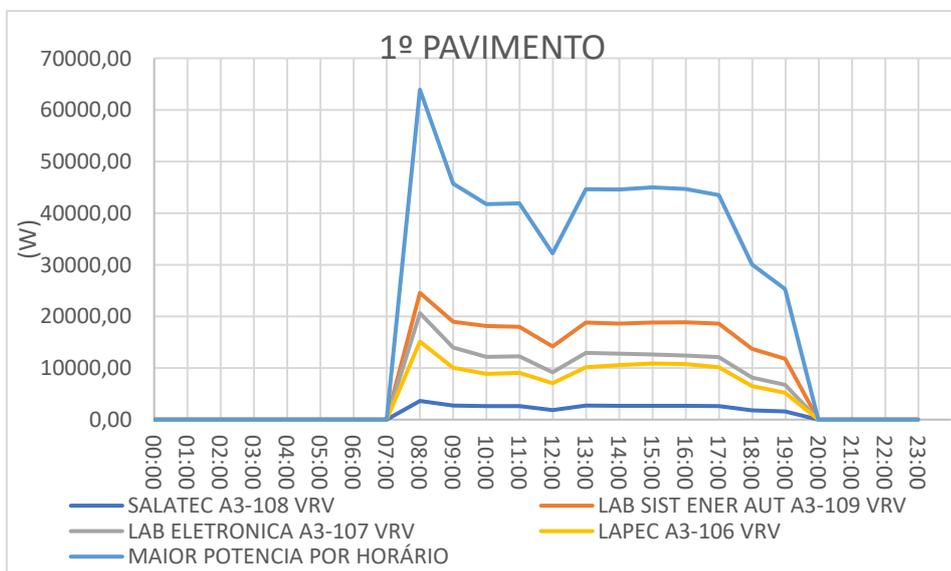


Figura 13 – Soma de potências internas por horário para refrigeração.

O sistema do tipo VRV utiliza as máquinas internas na configuração piso/teto devido sua facilidade de instalação totalizando 33 unidades internas, sendo 13 destas para o primeiro pavimento, onde foi escolhida uma máquina externa com potência total de refrigeração de 67000 W. Entretanto, para o segundo pavimento são utilizadas 20 máquinas internas, logo tem-se para a máquina externa do segundo pavimento uma potência de refrigeração total de 101500 W.

### 4.1.3.CONDIÇÕES INTERNAS

Para a análise do conforto térmico nas zonas, os parâmetros utilizados foram a temperatura média do ar, temperatura operativa e umidade relativa do ar da zona térmica A3-107 para primeiro pavimento e A3-213 para o segundo pavimento. O dia de projeto escolhido é o 21/12 ( $T_{bu}$ ), devido à maior exigência das unidades de climatização. As Figuras 15 e 16 mostram a temperatura média do ar utilizando as simulações denominadas VRV Proposto (simulação 6), PTHP instaladas (simulação 2) e PTHP Proposto (simulação 4).

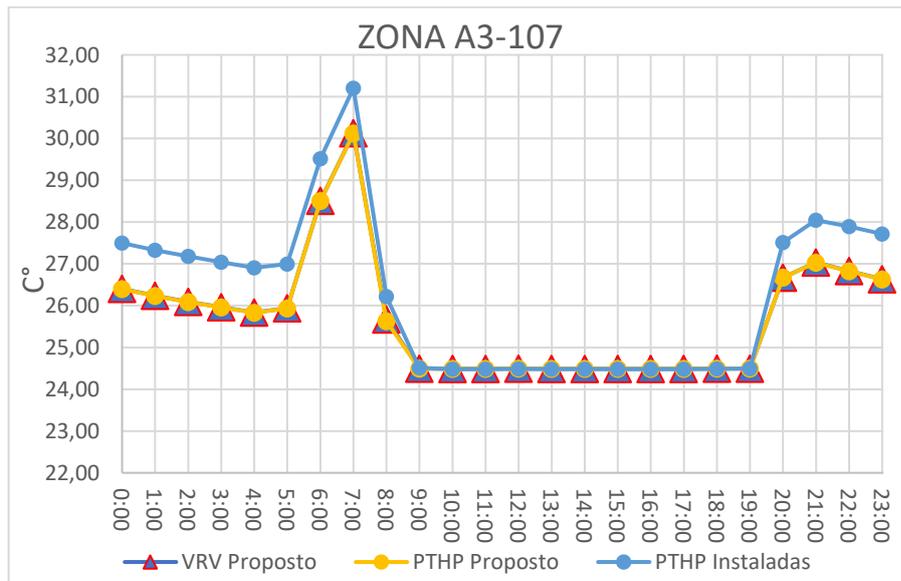


Figura 15 - Temperatura média do ar da Zona A3-107

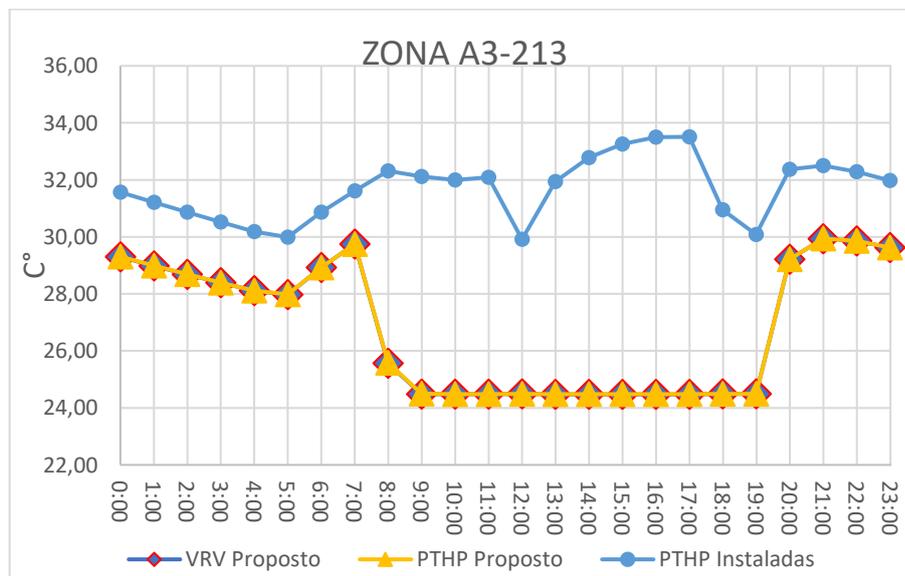


Figura 16 - Temperatura média do ar da Zona A3-213

Nota-se na Figura 15, que para as simulações 6 (VRV Proposto), simulação 4 (PTHP Proposto) e simulação 2 (PTHP Instaladas) a temperatura média do ar da zona A3-107 se manteve na temperatura de set point ( $24,5^{\circ}\text{C}$ ). Entretanto, para a Zona A3-213 a Figura 16 mostra que para simulação 2 (PTHP instaladas) a zona não conseguiu alcançar a temperatura de set point, chegando a ficar  $9^{\circ}\text{C}$  acima da

temperatura ideal; o motivo deste comportamento é a alta potência dissipada dos equipamentos internos da zona e a falta de potência de refrigeração, conforme mostrado nas Figuras 10 e 11.

A variação da temperatura operativa ao longo do dia de projeto apresentada nas Figuras 17 e 18 exibem os gráficos para os sistemas já mencionados anteriormente.

As figuras 17 e 18 mostram os gráficos referentes a temperatura operativa das simulações 2 (PTHP instaladas), 4 (PTHP Proposto) e 6 (VRV Proposto); como as cargas internas e externas do ambiente são iguais para todas simulações, a variação da temperatura operativa existente na zona A3-107 de 1,15°C é devida à falta de potência adequada da refrigeração.

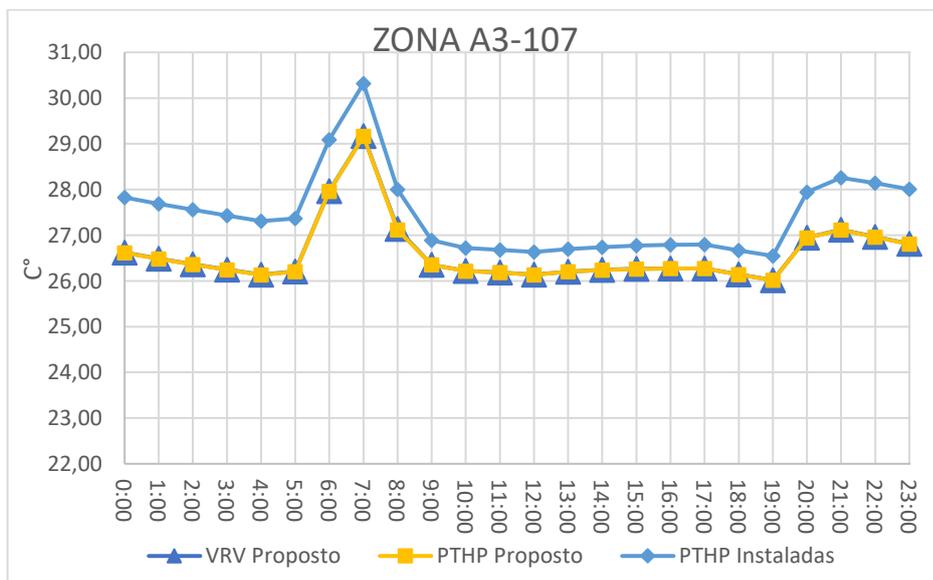


Figura 17 - Temperatura Operativa Zona A3-107

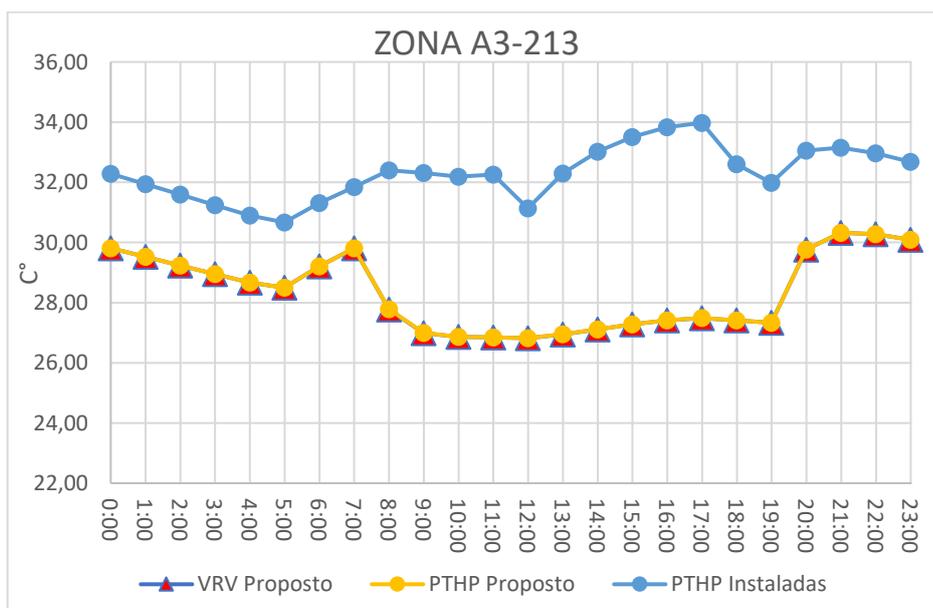


Figura 18 - Temperatura Operativa Zona A3-213

No período em que há climatização, os sistemas demonstram a eficiência das mudanças no dimensionamento do sistema e todos se mantêm dentro das temperaturas mínimas e máximas da zona

de conforto térmico no verão (ASHRAE 2017). No entanto, somente as temperaturas obtidas na simulação 2 (PTHP instaladas) referente à zona A3-213 ficaram fora da zona de conforto térmico, chegando a uma diferença de até 6,5 °C em relação aos valores obtidos nas simulações 4 (PTHP Proposto) e 6 (VRV Proposto).

As Figuras 19 e 20 mostram a umidade relativa do ar para os sistemas de climatização simulados para as salas A3-107 do 1º pavimento e A3-213 do 2º pavimento. As linhas  $UR_{max}$  e  $UR_{min}$  indicam a umidade relativa limite superior e umidade relativa limite inferior de 60% e 30%, respectivamente, referenciada na zona de conforto térmico de verão (ASHRAE 2017).

Os valores de umidade relativa do ar elevados indicam as infiltrações nas zonas nos períodos em que não há climatização para ambas as salas no período entre 20:00hr e 07:00hr. Portanto, para o dia em questão 21/01 ( $T_{bu}$ ), pode ser verificado que o valor de umidade relativa está acima do limite superior.

Conforme verificado na Figura 19, os valores de umidade relativa obtidos nas simulações 4 (PTHP Proposto) e 6 (VRV Proposto) estão acima do limite superior devido a carga latente de infiltração; entretanto a simulação 6 se mantém na linha do limite superior por maior parte das horas climatizadas, tendo uma queda comum para todas as simulações as 20:00hr, horário este que a ocupação é diminuída pela metade.

Para a Zona A3-213, nota-se que a umidade relativa é mantida dentro de seus limites superior e inferior; ocorrido este que se apresenta para todas as simulações dispostas na Figura 20, é notado também uma leve queda na umidade de todas as simulações as 20:00hr, horário que marca a última hora de expediente da edificação, onde a ocupação é representada pela metade do valor total dos ocupantes.

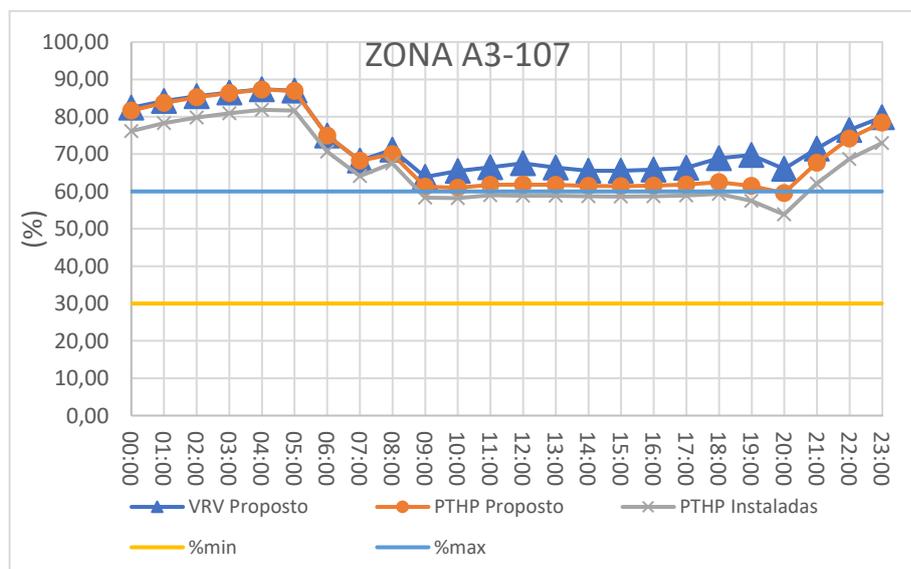


Figura 19 - Umidade Relativa Zona A3-107

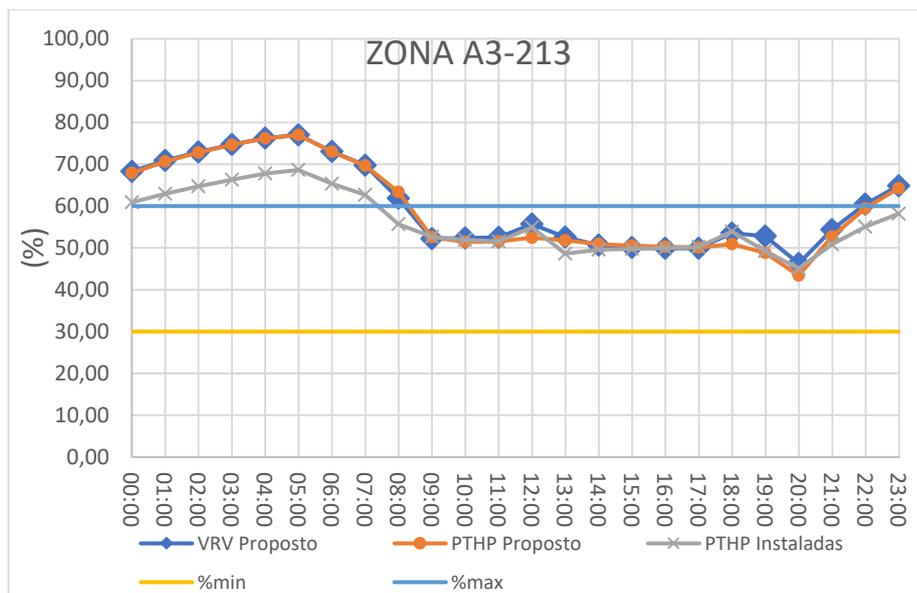


Figura 20 - Umidade Relativa Zona A3-213

#### 4.1.4. CONSUMO DE ENERGIA

As Figuras 21 e 22, mostram o consumo de energia elétrica mensal para o sistema de refrigeração para as simulações 4 (VRV Proposto) e 6 (PTHP Proposto), bem como os valores de aquecimento, refrigeração, ventilação de cada sistema de climatização, equipamentos e iluminação da edificação.

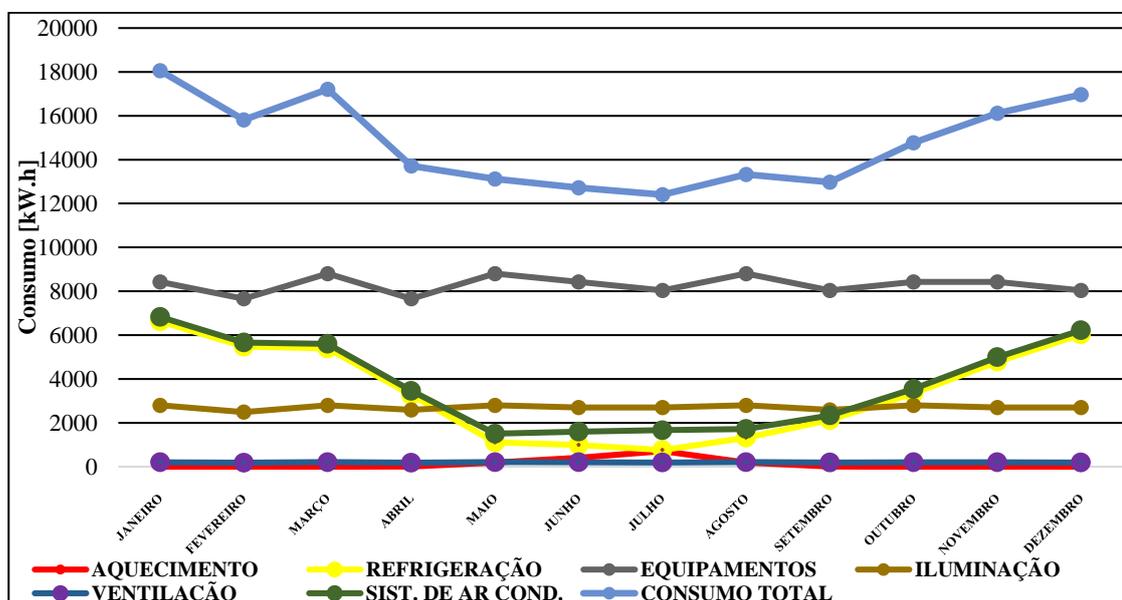


Figura 21 - Consumo de Energia Elétrica mensal PTHP Proposto

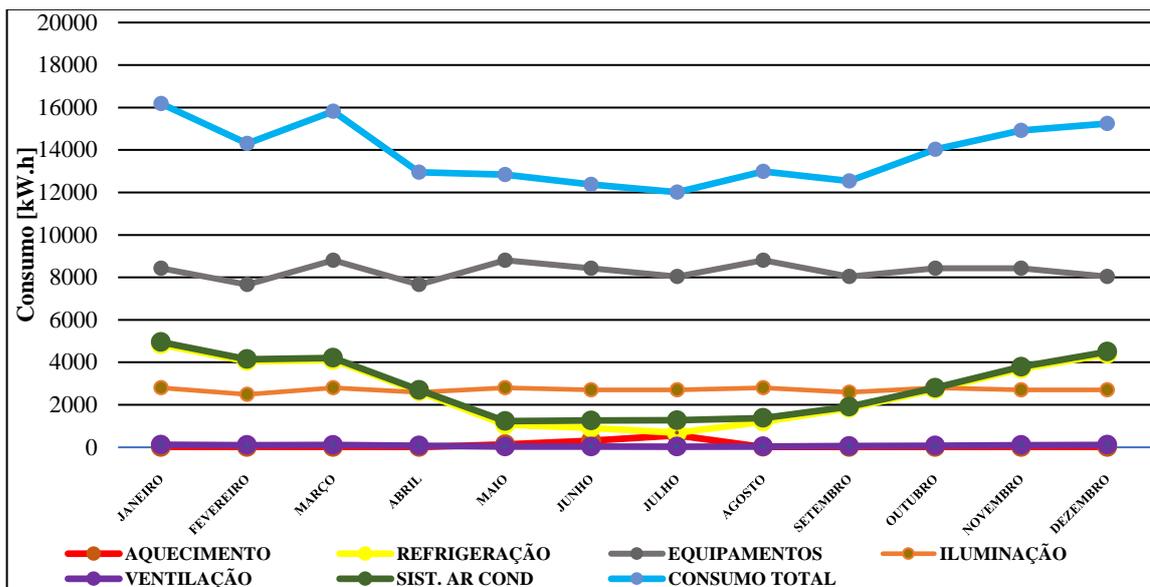


Figura 22 - Consumo de Energia Elétrica mensal VRV Proposto

Conforme verificado no gráfico da Figura 21, o valor máximo do consumo total da edificação com o dimensionamento do sistema PTHP (simulação 4) ocorreu no mês de janeiro, atingindo 18055,51 kW.h.

No entanto, verifica-se no gráfico da Figura 22 que o valor do consumo total com o sistema VRV (simulação 6) foi de 16179,65 kW.h no mês de janeiro.

A partir dos dados dos gráficos das Figuras 21 e 22, foi gerado o gráfico da Figura 23 que mostra o consumo elétrico mensal dos dois sistemas de refrigeração a fim de uma comparação entre os sistemas.

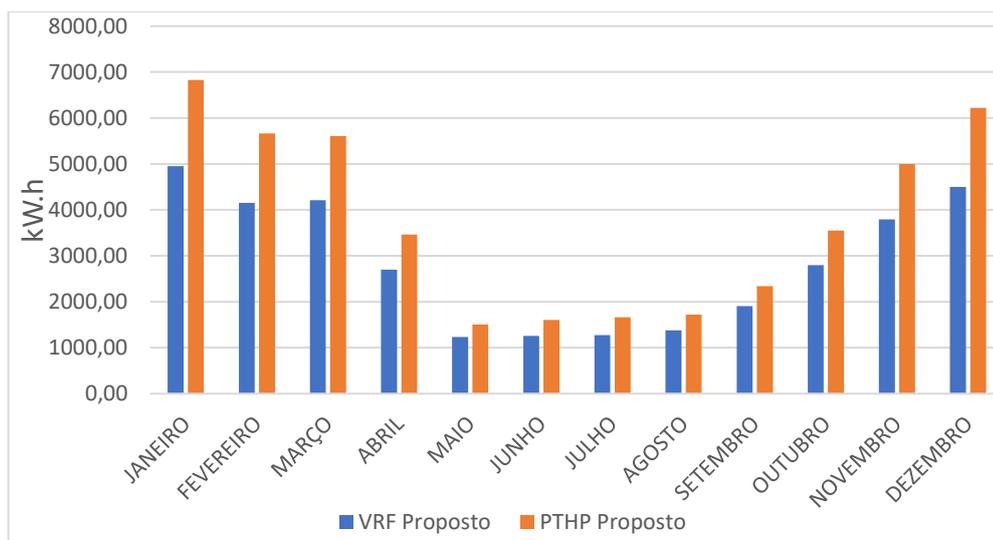


Figura 23 - Comparação de Consumo Energia elétrica VRV Proposto x PTHP Proposto

Portanto, pode ser verificado através da análise do gráfico da Figura 23 que o consumo anual do sistema VRV Proposto (simulação 6) é 24,37% menor que o sistema PTHP Proposto (simulação 4).

Pode ser verificado, também, que as maiores reduções mensais ocorreram nos meses de dezembro e janeiro e são de 27,68% e 27,47%. Para o sistema de aquecimento em questão foi constatado uma redução no valor de 23,56%, a qual é referente ao mês de julho.

## 5. CONCLUSÃO

O presente artigo contempla a análise termoenergética do prédio do laboratório de engenharia elétrica da Universidade Federal do Pampa em Alegrete-RS, através da ferramenta de simulação Energyplus (versão 9.4.0). Este é utilizado para dimensionamento de sistemas de climatização e para comparação entre dois sistemas; onde os objetivos são a análise do dimensionamento e consumo dos sistemas; propor melhorias que ajudem a alcançar os parâmetros para o conforto térmico dos ocupantes.

Para a temperatura média do ar das zonas, pode-se dizer que as mesmas atendem a condição de *set point* (24,5°C); isto acontece para a simulação 4 (PTHP Proposto) e simulação 6 (VRV Proposto). Além disso a temperatura operativa também se encontra dentro dos limites da zona térmica de conforto (ASHRAE 2017).

Com relação a umidade relativa do ar, foi notado que não ocorre atendimento efetivo dos parâmetros de umidade relativa mínimo e máximo; o conforto térmico em ambos os tipos de climatização para a zona A3-107 não é atendido, devido a infiltração de ar externo já em condições acima dos limites. Portanto, uma solução para este problema, propõe-se a instalação de um equipamento de tratamento do ar, onde o mesmo tem ação desumidificador.

Para a zona A3-213 a umidade relativa atende as condições de conforto da zona de verão, devido a grande quantidade de calor dissipado dos equipamentos contidos nesta zona, pela alta carga de calor sensível.

A resultado da análise dos resultados mostrou que o desempenho energético do sistema de climatização VRV (simulação 6) foi superior ao sistema PTHP (simulação 4), chegando a uma redução de 24,37% no consumo de energia elétrica anual da edificação em relação ao sistema convencional PTHP.

Por último, é evidente o potencial elevado que a ferramenta utilizada neste artigo possui para determinado fim, auxílio para compreender as deficiências de um sistema já existente e para possíveis ajustes de adaptação, para ter conhecimento se os ajustes se fazem suficientes ou não. Como sugestão para trabalhos futuros, fica a análise da viabilidade financeira do sistema do tipo VRV comparado ao sistema PTHP, quanto à instalação dos equipamentos, bem como o custo e frequência de suas manutenções.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. M. P. C. **Modernização de Sistemas de Climatização de Andar de Edifício Comercial Antigo no Rio de Janeiro com Base no Conforto Térmico dos Ocupantes**. 2011. Dissertação (Mestrado) — Universidade Católica de Petrópolis, Rio de Janeiro.

CAROTENUTO, A. R. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica**. 2009. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FADZLI, M. **Active Improvement of Air Conditioning System Energy Consumption with Adaptive Thermal Comfort Approach**. 2013. Monografia (MSc(R) thesis) — University of Glasgow.

MÜLLER, R. W. **Estudo da Eficiência Energética e Conforto Térmico de um prédio Universitário via simulação com EnergyPlus**. 2013. 29 p. Monografia (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SHABUNKO, V.; LIM, C.; MATTHEW, S. EnergyPlus models for the benchmarking of residential buildings in Brunei Darussalam. **Energy & Buildings, ScienceDirect**, v. 169, p. 507 – 516, junho 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816301931>. Acesso em: 26/10/2022.

SILVA, S. A. D. **Análise do Desempenho Termoenergético das Edificações do parque científico e tecnológico do Pampa (PampaTec)**. 2014 124p. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pampa Alegrete. Acessado em:24/10/2022

SOUZA, W. B. **Comparação entre dois sistemas de ar-condicionada para prédio Histórico**. 2010. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**MEMORIAL DESCRITIVO**: Memorial Descritivo do Prédio A3 da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete.

MIDEA. **Catálogo de produtos**, 2022.

MIDEA. **Catálogo de produtos**, 2023.

ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigeration and AirConditioning Engineers. Atlanta, 2005.

ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigeration and AirConditioning Engineers. Atlanta, 2017.

ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigeration and AirConditioning Engineers. Atlanta, 2021.

LABEEE. **Arquivos climáticos**. 2021. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso: 17 de Novembro de 2022.

TAUBE, G. E. **Análise do Desempenho Termoenergético do Prédio NTIC da Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

## 7. APÊNDICE A – ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

A Tabela A.1 mostra as salas, onde a nomenclatura na primeira centena indica as zonas dispostas no primeiro pavimento, assim como as zonas nomeadas com a segunda centena indica o segundo pavimento. Onde também demonstra qual a finalidade das salas juntamente com a pavimentação que se encontra e sua área (m<sup>2</sup>).

Tabela A.1 – Descrição das Zonas Térmicas

Nº	Zona Térmica	Tipo	Pav.	Área (m <sup>2</sup> )	Nº	Zona Térmica	Tipo	Pav.	Área (m <sup>2</sup> )
1	A3-106-LaPeC	Lab. Pesq.	1º	116,5	10	A3-211	Lab. ensino	2º	100,5
2	A3-107 Lab. Elet	Lab. ensino	1º	150,75	11	A3-212/1 GESEP	Lab. Pesq.	2º	50,25
3	A3-108	Sala tec	1º	25,15	12	A3-212 EIRE	Lab. Pesq.	2º	100,5
4	A3-depósito	Depósito	1º	25,15	13	A3-213 GAMA	Lab. Pesq.	2º	116,5
5	A3-109	Lab. ensino	1º	217	14	Corredor 2	Circulação	2º	48
6	A3-209/1	Sala prof.	2º	39,45	15	Corredor 1	Circulação	1º	48
7	A3-209 LeMA	Sala Pesq.	2º	81,55	16	Telhado 1	-	-	116,5
8	A3-210	Sala tec	2º	25,15	17	Telhado 2	-	-	349,5
9	A3-210/1	Lab. Exp.	2º	25,15					

A Tabela A.2 mostra os tipos de camadas que compõem as paredes, pisos e tetos, bem como as propriedades levadas em consideração pelo *software* EnergyPlus, as quais são, espessura (L), condutividade térmica – k, massa específica –  $\rho$ , calor específico – cp,  $\alpha_t$ - Absortividade da radiação térmica de onda longa,  $\alpha_s$ - Absortividade da radiação solar integrado em todo espectro do comprimento de onda,  $\alpha_v$ - Absortividade da radiação solar integrado no espectro de comprimento de onda visível.

Tabela A.2 – Propriedade termofísicas dos materiais das fachadas e cobertura

construção	Camadas/materiais	L (m)	k (W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C <sub>p</sub> (J/kg·K)	$\alpha_t$	$\alpha_s$	$\alpha_v$
Parede ext. 01	Reboco claro 2,5cm	0,025	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2
	Tijolo furado 20cm	0,2	0,6	1121,29	830	0,9	0,63	0,63
	Reboco claro 2,5cm	0,025	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2
Parede ext. 02	Reboco escuro 2,5cm	0,025	1,15	2000	1000	0,9	0,92	0,92
	Tijolo furado 20cm	0,2	0,6	1121,29	830	0,9	0,63	0,63
	Reboco claro 2,5cm	0,025	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2
Parede int. 01	Placa gesso oco 10cm	0,1	0,34	480,55	830	0,9	0,75	0,75
Parede int. 02	Madeira mole 3cm	0,0299	0,11	512,29	1380	0,9	0,78	0,78
Piso 01 1º andar	Terra 50cm	0,5	1	1500	840	0,9	0,7	0,7
	Concreto pesado 5cm	0,0500	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
	Madeira dura 1cm	0,0099	0,15	720,83	1250	0,9	0,78	0,78
Piso 02 1º andar	Terra 50cm	0,5	1	1500	840	0,9	0,7	0,7
	Concreto pesado 5cm	0,0500	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
Piso 05	Terra 50 cm	0,5	1	1500	840	0,9	0,7	0,7
	Concreto Pesado 5 cm	0,0500	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
	Argamassa assentamento 5mm	0,005	1,15	2000	1000	0,9	0,5	0,5

	Lajota piso cerâmica cor média 5mm	0,005	1	1900	1000	0,9	0,5	0,5
Teto 01 1º andar	Madeira dura 1cm	0,00999	0,15	720,83	1250	0,9	0,78	0,78
	Concreto pesado 20cm	0,2	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
	Reboco claro 2,5cm	0,025	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2
Teto 02 2º andar	Concreto pesado 20cm	0,2	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
	Reboco claro 1cm	0,01	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2
Teto 03 Telhado	Chapa galvanizada 1,6mm	0,0016	45,31	7833,02	500	0,9	0,23	0,23
Teto 04	Lajota piso cerâmica cor média 5mm	0,005	1,15	2000	1000	0,9	0,5	0,5
	Argamassa assentamento 5mm	0,005	1	1900	1000	0,9	0,5	0,5
	Concreto pesado 20cm	0,2	1,72	2242,58	830	0,9	0,65	0,65
	Reboco claro 1cm	0,01	1,15	2000	1000	0,9	0,2	0,2

Na Tabela A.3, são mostradas as propriedades dos três modelos de portas existentes na edificação, assim como suas propriedades.

Tabela A.3 – Propriedades termofísicas das Portas internas e portão

Construção	Camadas/materiais	L (m)	k(W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg·K)	$\alpha_t$	$\alpha_s$	$\alpha_v$
Porta 01 interna	Madeira porta 3cm	0,03	0,16	720	1255	0,92	0,7	0,7
Porta 02 interna	Madeira mole 3cm	0,299	0,11	512,59	1380	0,90	0,78	0,78
Portão alumínio	Alumínio 1_6mm	0,0016	221,38	2739,15	890	0,9	0,2	0,2

As propriedades e seus valores referentes aos vidros representantes dos dois modelos de janelas são apresentadas na Tabela A.4.

Tabela A.4 – Propriedades termofísicas dos vidros

Construção	Tipo de vidro	L	$\tau_s$	$\tau_v$	$\tau_{in}$	$\rho_s$	$\varepsilon_{in}$	k
Janela externa	Vidro claro 3mm	0,003	0,85	0,898	0	0,081	0,84	0,9
Janela interna	Vidro temperado claro 8mm	0,008	0,746	0,875	0	0,069	0,837	1

Assim como as janelas, as cortinas possuem suas propriedades; as mais importantes estão dispostas na Tabela A.5.

Tabela A.5 – Propriedades termofísicas das cortinas

Tipo cortina	L	$\tau_s$	$R_s$	$\tau_{sv}$	$R_{sv}$	$\varepsilon$	$\tau_{ir}$	$L_{cv}$	k
Persianas Fechadas Claras	0,003	0,050	0,55	0,050	0,55	0,9	0	0,05	0,1

## 8. APÊNDICE B – CARGAS INTERNAS

A Tabela B.1 mostra o número de ocupantes por zona térmica, bem como o valor em potência dissipada da atividade física correspondente. Todos os ambientes da edificação são climatizados exceto os corredores dos pavimentos um e dois, outra zona não climatizada é o depósito disposto no primeiro pavimento.

Tabela B.1 – Ocupação (pessoas/zona) e o calor dissipado (W)

Zona Térmica	Ocup.	Calor dissipado	Zona Térmica	Ocup.	Calor dissipado
A3-106-LaPeC	10	1300	A3-210	3	390
A3-107 Lab. Elet	35	4550	A3-210/1	3	390
A3-108	3	390	A3-211	25	3250
A3-depósito	0	0	A3-212/1 GESEP	8	1040
A3-109	20	2600	A3-212 EIRE	13	1690
A3-209/1	2	260	A3-213 GAMA	21	2730
A3-209 LeMA	10	1300			

A Tabela B.2 informa a quantidade de luminárias utilizadas em cada zona, assim como a potência total dissipada.

Tabela B.2 – Sistema de iluminação (luminária/zona)

Zona Térmica	Quant. luminária	Potência (W)	Zona Térmica	Quant. luminária	Potência (W)
A3-106-LaPeC	32	1024	A3-210/1	4	128
A3-107 Lab. Elet	40	1280	A3-211	28	896
A3-108	8	256	A3-212/1 GESEP	4	128
A3-depósito	4	128	A3-212 EIRE	20	640
A3-109	44	1408	A3-213 GAMA	24	768
A3-209/1	4	128	Corredor 2	12	384
A3-209 LeMA	28	896	Corredor 1	10	320
A3-210	4	128			

A Tabela B.3 mostra os tipos de equipamentos existentes por zona, assim como a potência dissipada de cada um. Na tabela, também é disposta a quantidade de cada equipamento e a potência total de cada tipo, bem como a potência total dissipada em cada zona térmica. Através de uma visita ao prédio,

foi levantado o tipo de equipamentos existentes em cada zona, então por meio da ASHRAE 2017 foram estabelecidas as potências para cada equipamento.

Tabela B.3 – Disposição de equipamentos e potências

Zona Térmica	Quant. Equip.	Tipo Equip.	Pot. (W)	Pot. total (W)	Zona Térmica	Quant. Equip.	Tipo Equip.	Pot. (W)	Pot. total(W)	
A3-106-LaPeC	6	CPU's	116	696	A3-210/1	2	cpu	116	232	
	12	Telas pc	25	300		2	tela	25	50	
	7	notebook	89	623		2	fresa	180	360	
	1	cafeteira	1350	1350		2	aspirador	583	1166	
					1	forno	2060	2060		
Total				2969	total				3688	
A3-107 Lab. Elet	1	data show	308	308	A3-211 Lab. Telecom	1	data show	308	308	
	6	osciloscópio	80	480		10	notebook	89	890	
	10	notebook	89	890		8	osciloscópio	38	304	
	6	fonte	175	1050						
	6	gerador sintet.	60	360						
total				3088	total				1502	
A3-108	4	telas	25	100	A3-212/1 GESEP	10	telas	25	250	
	4	osciloscópio	38	320		5	cpu	116	580	
	3	cpu	116	348		8	notebook	89	712	
	3	notebook	89	267		2	cafeteira	1350	2700	
total				1035	total				4242	
A3-depósito	0	nenhum	0	0	A3-212 EIRE	26	telas	25	650	
						13	CPU	116	1508	
						1	frigobar	57	57	
						1	cafeteira	1350	1350	
						2	osciloscópio	38	76	
						13	notebook	89	1157	
total					total				4798	
A3-109 Sistemas de energia e automação	10	notebook	89	890	A3-213 GAMA	35	Telas	25		
	1	data show	308	308		20	cpu	116		
	6	variador de tensão	185	1110		20	notebook	89		
	2	motores 5,5kW	828	1656		1	cafeteira	1350		
	2	Motores 3kW	576	1152		2	osciloscopio	38		
total				5116	total				6401	
A3-209/1	2	Cpu	116	232	Corredor 2	0	nenhum	0	0	
	4	telas	25	100						
total				332						
A3-209 LeMA	5	telas GG	48	240	Corredor 1	0	nenhum	0	0	
	5	telas PQ	25	125						
	10	cpu	116	1160						
	10	notebook	89	890						
total				2415						
A3-210	5	telas	25	125						
	3	cpu	116	348						
	3	notebook	89	267						
Total				740						

## 9. APÊNDICE C - POTÊNCIA DAS MÁQUINAS OBTIDAS PELA SIMULAÇÃO 3 E 4

Para as potências dos equipamentos em PTHP *autosize*, dispõe-se a Tabela C.1, mostrando os valores para refrigeração e aquecimento para cada zona térmica, bem como o dia de projeto de maior exigência.

Tabela C.1 – Valores das potências extraídas do sistema de climatização PTHP em *autosize*

Zona	Capacidade Refrigeração(W)	Capacidade Aquecimento(W)	Dias de projeto verão
A3-106	15614,60	9119,28	Tbu 21/12
A3-107	19391,10	9515,45	W 21/12
A3-108	3617,65	1698,94	Tbu 21/12
A3-109	24502,70	12554,00	Tbu 21/12
A3-209/1	3936,47	2813,12	Tbs 21/03
A3-209	11143,60	5713,65	Tbu 21/12
A3-210	3790,20	1957,69	Tbu 21/12
A3-210/1	8679,05	2198,93	Tbu 21/12
A3-211	15006,70	7550,28	Tbu 21/12
A3-212/1	8736,54	3575,52	Tbs 21/12
A3-212	21392,80	10969,7	Tbu 21/12
A3-213	20853,30	10517,00	W 21/12

Na Tabela C.2, são mostradas as potências em BTU/h de cada unidade interna e a quantidade de cada unidade escolhida para cada zona climatizada, bem como a capacidade total em Watt de cada pavimento e a vazão de ar insuflada no ambiente de cada unidade interna.

Tabela C.2 – Potências das máquinas selecionadas para o sistema PTHP proposto

Zona	Quant. Máq. (cap. 10 <sup>3</sup> BTU/h)	Capacidade Refrigeração(W)	Capacidade Aquecimento(W)	Capacidade Pavimentos	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
A3-106	2Máq. (18) + 1Máq. (22)	15810	15810	1° Pavimento 67067	0,667
A3-107	2Máq. (30) + 1Máq. (9)	20222	20222		0,886
A3-108	1Máq. (18)	5275	5275		0,222
A3-109	4Máq. (18)	25760	25760		1,156
A3-209/1	1 Máq. (18)	5270	5270	2° Pavimento 98400	0,222
A3-209	1Máq. (30) + 1Máq. (18)	11430	11430		0,508
A3-210	1Máq. (18)	5270	5270		0,222
A3-210/1	1Máq. (12) + 1Máq. (22)	8790	8790		0,378
A3-211	3Máq. (18)	15810	15810		0,667
A3-212/1	1Máq. (9) + 1Máq. (22)	8790	8790		0,378
A3-212	3Máq. (22) + 1Máq. (9)	21960	21960		0,997
A3-213	2Máq. (22) + 2Máq. (18)	21080	21080		0,889

A Tabela C.3 é composta pelos valores de potência das unidades internas de refrigeração e aquecimento para cada zona climatizada, assim como a potência das unidades externas para os dois pavimentos; os dias de projeto de maior consumo para a simulação 5 (VRV *autosize*) também, são apresentados.

Tabela C.3 – Potências de refrigeração e aquecimento para sistema VRV autosize

Zona	Capacidade máq. internas Refrigeração(W)	Capacidade máq. Internas Aquecimento(W)	Dia de Projeto de verão	Capacidade Máquinas externas Refrigeração/Aquecimento (W)
A3-106	15111	10834	Tbu 21/12	60720 / 39465
A3-107	20626	10395	Tbu 21/12	
A3-108	3614	1759	Tbu 21/12	
A3-109	24554	16477	Tbu 21/12	
A3-209/1	3975	4947	Tbs 21/03	93337 / 60412
A3-209	11421	9682	Tbu 21/12	
A3-210	3597	3489	Tbu 21/12	
A3-210/1	8677	1388	Tbu 21/12	
A3-211	15855	11466	Tbu 21/12	
A3-212/1	9660	3225	Tbu 21/12	
A3-212	21547	12841	Tbu 21/12	
A3-213	22412	13375	Tbu 21/12	

A Tabela C.4 apresenta os resultados das capacidades de refrigeração e aquecimento referente ao sistema VRV proposto (simulação 6), a mesma contempla as seguintes informações, quantidade de máquinas internas por zona, capacidade de refrigeração e aquecimento, vazão; bem como os valores de potências das máquinas externas e suas vazões.

Tabela C.4 – Unidades VRV proposto.

Zona	Quant. Máq. (cap. 10 <sup>3</sup> Btu's)	Capacidade Refrigeração (W)	Capacidade Aquecimento (W)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Capacidade Máq. Externas (Ref./Aquec.)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
A3-106	3Máq. (12) + 1Máq. (15)	15300	17000	0,681	67000 / 67000	6,94
A3-107	3Máq. (12) + 2Máq. (15)	19800	22000	0,903		
A3-108	1Máq. (12)	3600	4000	0,153		
A3-109	2Máq. (15) + 1Máq. (24)	23200	26000	0,666		
A3-209/1	1 Máq. (15)	4500	5000	0,222	101500 / 101500	8,33
A3-209	1Máq. (12) + 2Máq. (15)	12600	14000	0,597		
A3-210	1Máq. (12)	3600	4000	0,153		
A3-210/1	2Máq. (15)	9000	10000	0,444		
A3-211	4Máq. (12)	14400	16000	0,612		
A3-212/1	1Máq. (12) + 1Máq. (24)	10700	12000	0,375		
A3-212	4Máq. (19)	22400	25200	0,888		
A3-213	1Máq. (12) + 1Máq. (15) + 2Máq. (24)	22300	25000	0,819		

A Figura 14 exibe o gráfico que contempla a máxima potência de refrigeração ao longo do dia de projeto 21/12 (T<sub>bu</sub>) de cada zona térmica do 2º pavimento. Entretanto, a soma das potências de todas

zonas, descreve o horário de maior exigência das unidades. O horário do pico de consumo de potência de refrigeração do 2º pavimento ocorre às 7:00 hr.

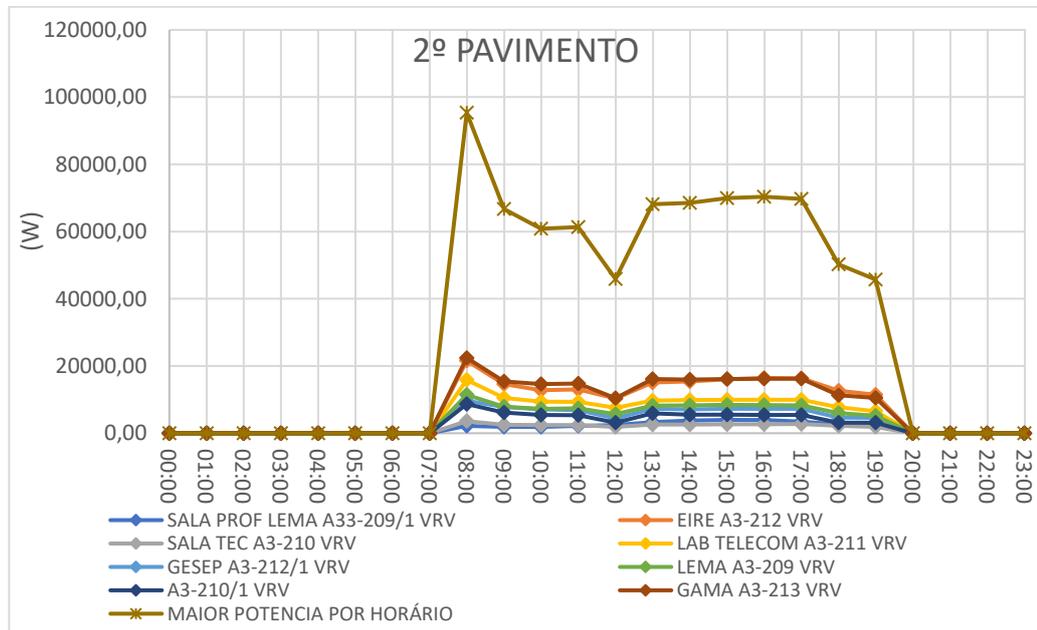


Figura 14 – Soma de potências internas por horário para refrigeração.