INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO

CAMPUS CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM

ENGENHARIA MECÂNICA

RENAN MOZZER DINIZ
TIAGO GARCIA DE MOURA

ANÁLISE POR COMPARAÇÃO ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE AR DO BLOCO 0 DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, CAMPUS CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM
2022

RENAN MOZZER DINIZ
TIAGO GARCIA DE MOURA

ANÁLISE POR COMPARAÇÃO ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE AR DO BLOCO 0 DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, CAMPUS CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr Erick Bernabé Zanelato.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM

2022

(Biblioteca do Campus Cachoeiro de Itapemirim)

D585a Diniz, Renan Mozzer.

Análise por comparação energética do sistema de arrefecimento de ar do Bloco 0 do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim / Renan Mozzer Diniz, Tiago Garcia de Moura. - 2022.
54 f. : il. ; 30 cm..

Orientador: Erick Bernabé Zanelato

TCC (Graduação) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, Engenharia Mecânica, 2022.

1. Ar condicionado . 2. Refrigeração . 3. Calor - Transmissão . I. Zanelato, Erick Bernabé . II.Título III. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD: 697.93

Bibliotecário/a: Renata Lorencini Rizzi CRB6-ES nº 085

RENAN MOZZER DINIZ
TIAGO GARCIA DE MOURA

ANÁLISE POR COMPARAÇÃO ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE AR DO BLOCO 0 DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, CAMPUS CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Data de aprovação
02/08/2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Erick Bernabé Zanelato
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Vianna Bahiense
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof: Me. Hilton Moulin Caliman
Instituto Federal do Espírito Santo

Emitido em 12/08/2022

FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC Nº 9/2022 - CAI - CCEM (11.02.18.01.08.02.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 15/08/2022 14:51)
ALEXANDRE VIANNA BAHIENSE
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
CAI - CCEM (11.02.18.01.08.02.05)
Matrícula: 1924977

(Assinado digitalmente em 12/08/2022 10:32)
ERICK BERNABE ZANELATO
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
CAI - CCEM (11.02.18.01.08.02.05)
Matrícula: 2162073

(Assinado digitalmente em 15/08/2022 19:26)
HILTON MOULIN CALIMAN
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
CAI - CCEM (11.02.18.01.08.02.05)
Matrícula: 2423351

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sipac.ifes.edu.br/documentos/ informando seu número: **9**, ano: **2022**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC**, data de emissão: **12/08/2022** e o código de verificação: **aebe74bf1c**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar o fôlego de vida, porque se não fosse o amor e a misericórdia d'Ele não estaria aqui. Agradecê-lo pela realização de um sonho e cumprimento de uma promessa feita a mim. E nos momentos que pensei em desistir Ele me deu ânimo para prosseguir nessa jornada.

Agradecer aos meu pais José Adilson e Maria das Neves, que sempre me apoiaram, incentivaram, oraram e me ajudaram na realização deste sonho. E também ao meus irmãos Marcos Alan, Wallace e Crislaine que também sempre me ajudaram e torceram por mim bem como as minhas cunhadas Isabella, Karoline e meu cunhado Miquéias.

A minha esposa Juceila, que mesmo antes de se tornar minha esposa, me apoiou ao ingressar nesta graduação sempre estando do meu lado. Nos momentos mais difíceis, quando não compartilhava com ela muita das minhas angústias, ainda assim me ajudava. Quando eu achava que nada daria certo, ela me incentiva e trazia confiança. Ao meu filho Emanuel, que chegou quase no final desta graduação e trouxe alegria com seu sorriso.

Aos meus sogros José Carlos e Sebastiana que me acolheram como filho e sempre me ajudaram e apoiaram nesta conquista. Também minhas cunhadas Jeleane e Cristiane.

Aos amigos que tive a oportunidade de fazer no curso, tanto aos colegas de turma, quanto professores. Ao professor Erick Bernabé Zanelato, que foi muito paciente comigo em suas orientações mesmo com minhas dificuldades para a realização deste trabalho. Ao engenheiro Mateus Coimbra Gus que disponibilizou seu tempo para auxiliar com seu conhecimento no *software* utilizado neste trabalho.

Aos meus irmãos em Cristo que sempre oraram por mim, são benção em minha vida.

Renan Mozzer Diniz

Primeiro quero agradecer a Deus porque sem Ele nada seria possível. Depois gostaria de agradecer meus pais, João Batista e Helena, que muito me apioram nessa jornada. Em especial minha esposa e companheira Stéfane por todo apoio incondicional. E por fim ao meu amigo e companheiro de trabalho Renan, por todo empenho, dedicação e paciência para comigo, você é um guerreiro!

Tiago Garcia de Moura

RESUMO

Uma das causas do crescente consumo de energia elétrica dá-se pela necessidade de melhores níveis de conforto térmico e pelo maior tempo de ocupação das pessoas nos espaços climatizados, quer sejam residenciais, industriais ou públicos. Deste consumo, até 50% pode ser destinado à sistemas de arrefecimento de ar, elevando os valores a serem pagos às concessionárias de energia por causa de sistemas ultrapassados e ineficientes. Portanto, parâmetros como eficiência e sustentabilidade passaram a ser alvos de estudos no que se diz respeito a sistema de climatização, bem como formas de certifica-las. Com o intuito de diminuir os gastos com consumo elétrico do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Cachoeiro de Itapemirim, o presente trabalho faz uma análise da eficiência no consumo elétrico do Bloco 0. Primeiramente, analisando as condições meteorológicas da região onde se encontram as instalações do campus, dados públicos referentes ao consumo elétrico a nível estadual para diversos setores e análise do consumo de energia do campus. Posteriormente, com o auxílio do *software EnergyPlus* foi calculada a carga térmica, verificando que alguns dos atuais climatizadores instalados, que são do tipo *split*, podem não atender a carga térmica demandada, principalmente em períodos de pico, pois o valor encontrado para alguns dos ambientes foi acima da capacidade do sistema atual. Ainda, com uma possível substituição pelo sistema de Fluxo de Refrigerante Variável (VRF) é estimada uma economia no consumo de energia elétrica até 59% em relação ao *split* devido o coeficiente de desempenho do VRF ser maior que o *Split* para os parâmetros estabelecidos. Comparado com o consumo do ano de 2018 estima-se uma redução de até 2,8% que poderia representar um montante de até R$12.166,63 anual somente com a mudança do sistema unitário para o VRF em um único bloco do instituto.

Palavras chaves: Ar condicionado. Eficiência. Carga Térmica. VRF. Zona Térmica.

ABSTRACT

One of the causes of the growing consumption of electricity is the need for better levels of thermal comfort and the longer occupation of people in air-conditioned spaces, whether residential, industrial or public. Of this consumption, up to 50% of that can be destined to air cooling systems, raising the amounts to be paid to the energy utilities because of outdated and inefficient systems. Therefore, efficiency and sustainability have become the targets of studies with regard to HVAC systems, as well as ways to certify them. In order to reduce the costs, the Federal Institute of Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim campus, the present work makes an analysis of the efficiency in the electrical consumption of Block 0. First, by analyzing the meteorological conditions of the region where the campus facilities are located, public data regarding electric consumption at the state level for several sectors and analysis of the campus of energy consumption on campus. Subsequently, with the help of EnergyPlus software, the thermal load was calculated, verifying that some of the current air conditioners installed, which are of the split type, may not meet the thermal load demanded, especially during peak periods, because the value found for some of the environments was above the capacity of the current system. Furthermore, with a possible replacement by the Variable Refrigerant Flow (VRF) system, it is estimated that there will be savings of up to 59% in electricity consumption compared to split systems, due to the coefficient of performance of VRF being higher than Split systems for the established parameters. Compared to the consumption of the year 2018, a reduction of up to 2.8% is estimated which could represent an amount of up to R$12,166.63 annually just by switching from the unitary system to VRF in a single block of the institute.

Keywords: Air conditioning. Efficiency. Thermal Load. VRF. Thermal Zone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.

Figura 1 – Consumo anual de energia elétrica do Brasil 2012 a 2021. 14

Figura 2 – Sistema de refrigeração por compressão de vapor. 18

Figura 3 – Ar condicionado tipo janela. 20

Figura 4 – Ar condicionado tipo Split. 21

Figura 5 – Comparação entre ar condicionado Split e convencional e inverter. 22

Figura 6 – Chiller empregando água gelada. 24

Figura 7 – Diversidade de equipamentos internos ligados ao VRF. 25

Figura 8 – Clima de da região de Cachoeiro de Itapemirim. 27

Figura 9 – Planta baixa do Bloco 0 inferior, campus Cachoeiro de Itapemirim. 31

Figura 10 – Planta baixa do Bloco 0 superior do Ifes, campus Cachoeiro de Itapemirim. 32

Figura 11 – Vista em perspectiva da faixada do Bloco 0. 33

Figura 12 – Vista em perspectiva da parte posterior do Bloco 0. 34

Figura 13 – Dados das coordenadas da estrutura do Bloco 0 no EnergyPlus. 34

Figura 14 – Schedule Compact. 35

Figura 15 – Materiais e suas propriedades físicas e térmicas. 36

Figura 16 – Composição das partes construtivas da edificação. 36

Figura 17 – Ocupação de pessoas nas zonas térmicas. 37

Figura 18 – Densidade de Potência de Iluminação Limite utilizada. 37

Figura 19 – Potência dissipada por equipamentos elétricos. 38

Figura 20 – Temperaturas do termostato. 39

Figura 21 – Sistemas unitários para cada zona térmica.....39

Figura 22 – Unidades internas para o tipo de Sistema Unitário. 40

Figura 23 – Sistema do tipo VRF 40

Figura 24 – Unidades internas para o tipo de Sistema VRF. 41

Figura 25 – Aparelhos de ar condicionado do Bloco 0. 42

Figura 26 – Modelos de ar condicionado VRF. 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura e umidade relativa do ar.....28

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica por setor no Espírito Santo. 29

Tabela 3 – Carga térmica calculada. 41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning.*

BTU *British Thermal Unit.*

BRE *Building Research Establishment.*

B0S1I Bloco 0, Sala 1 Inferior.

B0S2I Bloco 0 Sala 2 inferior.

B0S3I Bloco 0 Sala 3 inferior.

B0S1S Bloco 0 Sala 1 Superior.

B0S2S Bloco 0 Sala 2 Superior.

B0S3S Bloco 0 Sala 3 Superior

CASBEE *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency.*

COP *Coefficient of Performance.*

GBC *Green Building Council.*

HQE *Haute Qualité Environnementale.*

HVAC (Heating, ventilating and Air Conditioning).

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

LEED *Leadership in Energy and Environmental Design.*

NBR Norma Brasileira.

PBE Programa Brasileiro de Etiquetagem.

PROCEL Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.

RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para o nível de Eficiência de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.
SI	Sistema Internacional
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TR	Tonelada de Refrigeração
UR	Umidade Relativa.
VRF	*Variable Refrigerant Flow.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

1.1. MOTIVAÇÃO..... 14

2 OBJETIVOS 15

2.1 OBJETIVO GERAL 15

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO. 16

3.2 CARGA TÉRMICA OU CARGA DE RESFRIAMENTO 17

3.3 *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* (COP) 18

3.4 FORMAS DETRANSFERÊNCIA DE CALOR 19

3.5 AR CONDICIONADO. 19

4 METODOLOGIA 26

4.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM 26

4.2 CONSUMO ELÉTRICO NO ESPÍRITO SANTO 29

4.3 CONSUMO ELÉTRICO DO CAMPUS 30

4.4 ESTRUTURA ARQUITETÔNICA DO BLOCO 0. 31

5 PROGRAMAS UTILADOS E MÉTODOS 32

5.1 ENERGYPLUS..... 32

5.2 SKETCHUP 32

5.3 ELABORAÇÃO DA EDIFICAÇÃO 33

5.4 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO 35

5.4.1 ***Schedule: Compact*** **(Agenda: Resumida)** 35

5.4.2 ***Material*** **(Material)** 35

5.4.3 ***Construction*** **(Construção)** 36

5.4.4 **People (Pessoas)** 36

5.4.5 ***Lights*** **(Iluminação)** 37

5.4.6 ***Eletric Equipaments*** **(Equipamentos elétricos)** 38

5.4.7 ***HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) Templates*** **(Modelos de aquecedores, ventiladores e ar condicionados)** 38

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 41

6.1 SISTEMA UNITÁRIO 41

6.2 SISTEMA VRF 42

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS 43

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 43

7.2 PERSPECTIVAS FUTURAS. 44

8 REFERÊNCIAS 45

9 APÊNDICE 48

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos podem produzir calor muito mais facilmente do que removê-lo. No início do século XVII, as pessoas entenderam o potencial da produção mecânica de frio para preservação dos alimentos e conforto térmico, mas criar e controlar o frio exigiu literalmente centenas de anos de experimentos científicos (Rees, J.2013). A refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é desejado. O calor é removido dos alimentos para preservar suas qualidades e sabor, ou é removido do ar de uma sala para propiciar condições de conforto a seus ocupantes (Miller, 2014).

Mas este processo de remoção de calor não acontece de forma natural. Conforme o Enunciado de Clausius da Segunda Lei da Termodinâmica: **"É impossível para qualquer sistema operar de tal maneira que o único resultado seja a transferência de energia sob a forma de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente".** Todavia, ele não exclui a possibilidade de transferência de calor de um corpo mais frio para um mais quente, pois é justamente o que acontece em um sistema de refrigeração.

Para que este processo não natural aconteça é necessário a inserção de energia. Segundo Young (2008), energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma forma para outra, mas que não pode ser criada nem destruída. Desta forma, a possibilidade de transferir o calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente acontece quando alguma fonte de energia transmiti energia elétrica e sendo convertida em energia mecânica pelos compressores.

Anteriormente da descoberta do sistema de refrigeração a indústria de gelo americana no início do século XIX ofereceu a primeira oportunidade da história da humanidade para o homem aproveitar o frio para fins empresariais. Produtos alimentícios que dependiam do gelo para permanecer frios às vezes eram transportados sem refrigeração, mas sua incorporação em cadeias de frio fez sua remessa mais eficaz e lucrativa. A refrigeração tornou-se tão predominante hoje devido às suas muitas vantagens sobre outros métodos de preservação de alimentos. Algumas dessas alternativas existiam muito antes da refrigeração.

Estes outros métodos evitavam que a comida se tornasse imprópria para consumo, mas a refrigeração mecânica ofereceu a possibilidade de manter os alimentos frescos por mais tempo, de forma mais eficiente e eficaz. Por estas razões, o aperfeiçoamento da refrigeração constitui um grande marco na história da refrigeração (Rees, 2013).

Sistemas de climatização utilizando refrigeração mecânica tornou-se uma grande indústria apenas no últimos 80 anos. No entanto, em 2000, os sistemas HVAC (Heating, ventilation and Air Conditioning) no Estados Unidos atingiram um valor total instalado de cerca de US$ 50 bilhões por ano, com aproximadamente US$ 20 bilhões em vendas de equipamentos. Uma pessoa típica na sociedade moderna pode gastar até 90% de cada dia dentro de casa. Desta forma, não é surpreendente que proporcionar um ambiente interno saudável e confortável tornou-se um fator importante na economia (Pita, 2002).

Miller (2014) representa bem como a refrigeração estar presente no cotidiano.

> A indústria de refrigeração agora se expandiu de forma a estar presente na maior parte de nossas vidas. Existe refrigeração em nossos lares e ar condicionado em nosso local de trabalho, e até mesmo em nossos automóveis. A refrigeração é usada em vários setores, da fabricação de café instantâneo às mais modernas técnicas cirúrgicas.

Com o desenvolvimento desses sistemas de climatização, a eficiência é um dos parâmetros mais importantes a ser estudado, pois está relacionado ao consumo de energia elétrica do usuário. Segundo Godoi (2009) a eficiência energética abrange o conjunto de ações de racionalização, que levam à redução do consumo de energia, sem perda na quantidade ou qualidade dos bens e serviços produzidos, ou no conforto disponibilizado pelos sistemas energéticos utilizados. Com isso, equipamentos que não atendem a este conjunto de ações se tornando ultrapassados e ineficientes resultam em um alto gasto de eletricidade, motivando a substituição por equipamentos com melhores desempenhos. Uma vez que esses equipamentos antiquados têm entrado cada vez mais em desuso, dificulta-se a manutenção como na substituição de peças e na reposição de fluido refrigerante.

Conforme dados da PROCEL (Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética), aproximadamente 50 % da energia do país pode ser consumida por edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. No entanto, cada vez mais as edificações estão sendo construídas conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que tem como objetivo informar os consumidores sobre a eficiência, iniciou a partir da Lei de Eficiência Energética publicada em 17 de outubro de 2001, onde o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) que estabelecia voluntariamente programas de etiquetagem passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade de forma compulsória. Desta forma, as edificações construídas de acordo com o PBE pode obter uma economia de até 50%. Já para edifícios reformados podendo alcançar até 30% de economia. Para as edificações públicas, que é o objeto do estudo deste trabalho, aproximadamente 70% de energia consumida deve-se à iluminação e arrefecimento.

Grande parte da energia elétrica consumida é desperdiçada pelos sistemas convencionais, que trabalham com expansão direta, enquanto que a tecnologia do sistema VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) possui inúmeras vantagens que serão abordadas posteriormente, mas a principal é a alta eficiência alcançada pela ação de diversos conversores eletrostáticos, que têm as funções de controlarem as partidas dos motores dos compressores, desta forma a corrente de partida dos motores não atinge valor nominal ao contrário dos convencionais (Bezerra, 2018). Portanto, os modelos convencionais além de serem ineficientes estão se tornando cada vez mais antiquados. Devido a isso, este trabalho faz uma análise do sistema de condicionamento de ar instalado no Bloco 0 (como é nomeado cada edifício do campus, por blocos) do IFES - campus Cachoeiro de Itapemirim, que foi inaugurado no ano de 2020, possuindo o sistema de climatização com equipamentos do tipo *split* e comparando sua estimativa de consumo de energia elétrica anual com a estimativa de consumo de energia elétrica anual do sistema VRF, a fim de saber o valor estimado de redução caso fosse feita a substituição.

1.1. MOTIVAÇÃO

O padrão de aumento global no consumo de energia em edifícios, tanto residenciais quanto comerciais tem aumenta constantemente. Igualmente, o Brasil tem aumentado seu consumo de energia elétrica nos últimos anos como mostra a Figura 1. A partir de 2016, o consumo elétrico nacional aumentou progressivamente chegando ao valor de 482.527,4 Gwh em 2019, reduziu em aproximadamente 1,30% em 2020, atingindo o valor de 476.568,9 GWh e aumentando novamente chegando ao valor de 497.503,4. As principais razões atribuídas a este número crescente incluem: crescimento da população, maior demanda por serviços de construção, a necessidade de melhores níveis de conforto e maior duração dos ocupantes dentro dos edifícios.

Figura 1 – Consumo anual de energia elétrica do Brasil 2012 a 2021.

Fonte: EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2022.

Desta forma, acreditasse que o aumento na demanda energética continuará aumentando. Por isso, melhorar a eficiência energética dos edifícios é um objetivo primordial para os formuladores de políticas energéticas globais

Em relação ao tema, muitos países já desenvolveram metodologias para avaliação e certificação ambiental das edificações, também conhecidas como selos verdes. Dentre essas se destacam: Método de Avaliação Ambiental do Building Research Establishment (BRE) britânica, *Leadership in Energy and*

Environmental Design (LEED) Norte Americana, *Haute Qualité Environnementale* (HQE) francesa, *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE) japonesa e *Green Building Council* (GBC) que pertence a um consórcio de vários países (GRÜNBERG, 2014)

Enquanto no Brasil, uma forma de identificar edifícios e classificá-los em uma dada categoria como eficientes energeticamente é o Selo Procel, que também incentiva o mercado consumidor a aderir esta prática de forma voluntária.

Um levantamento realizado pela ELETROBRAS mostrou que os sistemas individuais de parede e/ou "*split*" foram os mais encontrados nas instalações dos prédios públicos (82,4%). Já os sistemas de água gelada para climatização foram verificados em apenas 32,4% dos prédios pesquisados (PROCEL; ELETROBRÁS, 2008). Apesar de possuírem maior custo de implantação, os sistemas de água gelada apresentam melhor eficiência e menor custo para grandes instalações. Em relação ao sistema VRF, não foram encontrados estudos estatísticos de implantação deste em prédios públicos.

Portanto, pensando na melhoria do sistema de refrigeração do campus Cachoeiro de Itapemirim, tornando o consumo de energia mais sustentável e na melhor administração e gasto de recursos públicos, este trabalho será desenvolvido para análise do melhor sistema de condicionamento de ar para as estruturas dessa unidade de ensino.

2 OBJETIVOS

Neste tópico será apresentado o objetivo geral bem como os específicos, inerentes à obtenção de êxito ao cumprimento do objetivo geral.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação do sistema de ar condicionado das seis salas de aula do Bloco 0 do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus de Cachoeiro de Itapemirim. Analisar se o sistema já existente atende à carga térmica requerida e, caso os condicionadores de ar fossem substituídos sistemas do tipo VRF como impactaria no consumo de energia elétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construção do modelo 3D da edificação;
- Cálculo de carga térmica das zonas térmicas, a fim de saber se o sistema de arrefecimento atual atende a carga requerida;
- Estimativa do consumo elétrico utilizando sistemas unitários para cada zona térmica;
- Estimativa do consumo elétrico para uma unidade de VRF.
- Estudo comparativo entre os sistema unitário e o VRF.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado alguns conceitos, definições e alguns tipos de ar condicionados que serão abordados no trabalho.

3.1 DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO.

Conforme NBR 16401-2 (Instalação de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico), o conforto térmico pode ser definido como estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e a temperatura do corpo como um todo.

Segundo ASHRAE (2017), O principal objetivo do HVAC é fornecer condições para o conforto térmico humano, “aquela condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada por critérios subjetivos. Esta definição deixa em aberto o que se entende por “condição da mente” ou “satisfação”, mas enfatiza corretamente que o julgamento do conforto é um processo cognitivo envolvendo muitas entradas influenciadas por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros.

3.2 CARGA TÉRMICA OU CARGA DE RESFRIAMENTO

Carga térmica é a quantidade de calores sensível e latente que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas (Creder, 2004).

Segundo a ASHRAE (2017) as variáveis que afetam os cálculos de carga de resfriamento são numerosas, muitas vezes difíceis de definir com precisão, e sempre intrinsecamente inter-relacionados. Muitos componentes de carga de resfriamento variam amplamente em magnitude e possivelmente diferem durante um período de 24 horas. Essas mudanças cíclicas nos componentes de carga muitas vezes não estão em fase uns com os outros, cada componente deve ser analisado para estabelecer a carga máxima de resfriamento para um edifício ou zona. Portanto, o sistema não trabalhará todo o tempo utilizando a sua capacidade máxima, mas sim quando houver uma grande demanda de carga térmica, que será conforme ocupação, horário, estação do ano, entre outros fatores.

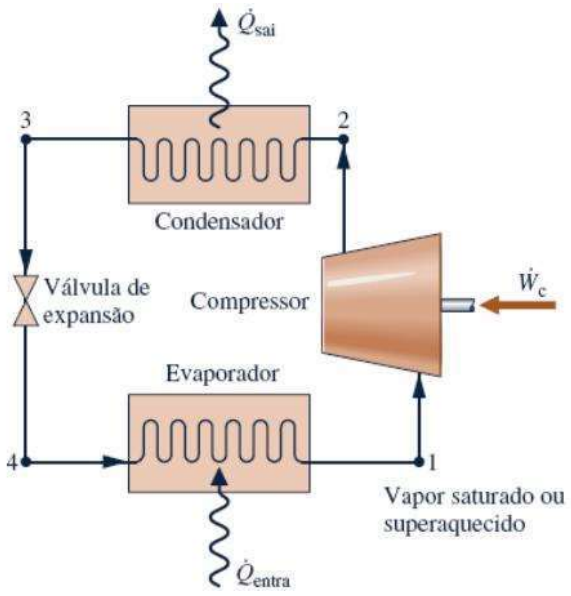
Antes que a carga possa ser estimada, é imperativo que seja feito um levantamento abrangente para garantir uma avaliação precisa dos componentes da carga. Se as instalações do edifício e a carga instantânea real dentro de uma determinada massa do edifício forem cuidadosamente estudadas, uma seleção econômica de equipamentos e o design do sistema podem resultar, em uma possível performance suave e sem problemas. O principal papel do ar-condicionado é manter condições favoráveis ao ser humano, exigidas por um produto ou processo dentro de um espaço. Para executar esta função, um equipamento com a capacidade adequada deve ser instalado e controlado ao longo do ano (Carrier, 1966). Desta forma, pode-se evitar desperdícios e mau dimensionamento realizando um estudo prévio, atendendo a demanda de carga térmica corretamente.

3.3 *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* (COP)

Conforme RTQ-C 2012 (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comercias, de Serviços e Públicas), o coeficiente de desempenho (COP) é a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de refrigeração ou uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas, conforme a Equação 1 e como mostrado na Figura 2:

$$COP = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_c} \qquad (1)$$

Figura 2 – Sistema de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: Shapiro, 2013.

A medida que o refrigerante passa pelo evaporador, a transferência de calor do espaço refrigerado resulta na evaporação do refrigerante, climatizando o ambiente. Essa transferência de calor em forma de taxa $\dot{Q}_{entra}$ é conhecida como capacidade frigorífica, ou seja, o quanto de calor o sistema consegue retirar do ambiente e o trabalho necessário para que isso aconteça, uma vez que este processo não é natural, o trabalho $\dot{W}_c$ é o responsável para acionar o

compressor, fazendo com que este processo não natural aconteça. Então, o COP é a razão destas duas formas de transferências de energia.

3.4 FORMAS DETRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Çengel (2012), a condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas, ou seja, a transferência de calor se dá das partículas de maior temperatura para as de menor temperatura.

Conforme o mesmo autor a transferência de calor por convecção acontece entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido. A convecção pode ser forçada, quando o fluido é forçado a fluir por meios externos como ventiladores, bomba ou vento, aumentando a transferência de calor. Todavia, a convecção pode ser natural quando o movimento do fluido é causado por foças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, decorrentes da variação de temperatura de fluido, transferindo calor de forma mais lenta em comparação convecção forçada.

Já a radiação é emitida pela matéria sob formas de ondas eletromagnéticas como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas. Diferente da transferência por condução e da transferência por convecção a radiação não exige a presença de um meio interveniente. Ela é mais rápido e não sofre a atenuação no vácuo sendo desta forma como a energia do Sol atinge a Terra.

3.5 AR CONDICIONADO.

Conforme NBR 16401-1 (Instalações de ar-condicionado e unitários Parte 1: Projetos das instalações.) O ar condicionado realiza um processo que objetiva

controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente.

Já a ASHARE (2000) destaca alguns outros parâmetros a serem controlados como nível sonoro e diferencial de pressão em um espaço dentro de limites pré-determinados para o conforto e a saúde dos ocupantes do espaço condicionado ou para a finalidade de produtos.

Existem diferentes tipos de ar condicionados, variando conforme tipo de aplicação, capacidade de resfriamento, eficiência, tecnologia e preço.

O ar condicionado tipo janela possui unidades evaporadora e condensadora no mesmo gabinete, como é mostrado na Figura 3. Devem ser instalados embutidos na parede ou em vãos de janelas. Os últimos modelos fabricados possuem um menor nível de ruído comparado aos modelos mais antigos, além de controle remoto. Podem ou não fazer renovação de ar. Com potência entre 7.500 a 30.000 BTU (*British Unit Thermal*) Unidade Térmica Britânica não é a unidade do sistema internacional para energia, porém ela é muito comum quando se trata de ar condicionado, sendo que 1 BTU equivale a 0,293 Watts .

Figura 3 – Ar condicionado tipo janela.

Fonte: Catálogo Midea (2021).

As vantagens deste equipamento é que são compactos, não ocupando espaço útil. Não requerem instalação especial e possuem fácil manutenção. São produzidos para aquecimento por reversão de ciclo (bomba de calor).

Suas desvantagens que possuem pequena capacidade, maior nível de ruído, não tem flexibilidade, maior custo energético (kW/Toneladas de Refrigeração – TR- mais uma unidade comum se tratando de ar condicionado, comum em sistemas de grande porte, pois 1TR equivale a 3,5kW), distribuição de ar a partir de ponto único, alteram a fachada da edificação, o local ideal para sua instalação normalmente interfere com aberturas ou outros elementos do prédio.

Já o *split,* as unidades evaporadora e condensadora são separadas conforme a Figura 4. O condensador e o compressor estão localizadas ao ar livre, já o evaporador e o ventilador estão no interior do ambiente a ser climatizado. Tubos de retorno de refrigerante conectam as duas unidades. A unidade interna pode ser montada na parede, ou no chão, ou acomodada dentro do teto rebaixado. O acabamento da unidade interna é de alta qualidade para integrar com a aparência da sala, painéis de decoração ou teto suspenso. Este tipo de sistema é mais silencioso quando comparado com seu antecessor, o tipo janela.

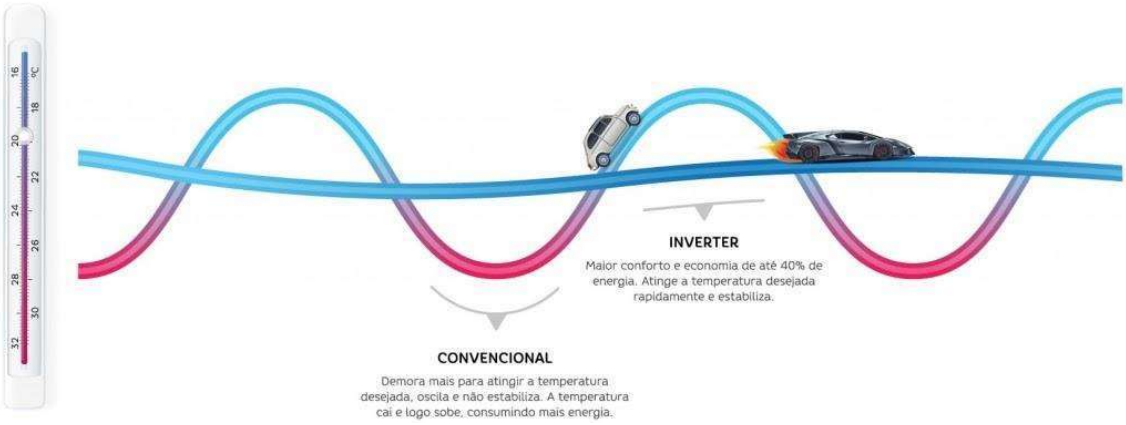
Figura 4 – Ar condicionado tipo *Split.*

Fonte: Catálogo Midea (2021).

As vantagens deste equipamento é a versatilidade, eficiência e pode ser aplicado na maioria das residências. É ideal para quem deseja uma climatização silenciosa e rápida. Fácil instalação e manutenção. Em contrapartida, costuma ter um preço um pouco mais elevado justamente por conta de uma tecnologia de funcionamento mais recente, quando comparado com o modelo janela. Além disso, não é indicado para situações em que o ambiente é muito amplo e com grande fluxo de pessoas.

E existe o *split* com uma tecnologia mais recente, o inverter. O *split* convencional desliga ao atingir a temperatura desejada e, quando necessário, liga para manter essa climatização. Já o *inverter* funciona com seu compressor sempre ligado, com uma rotação variável. A velocidade do compressor acompanha a temperatura do ambiente. Conforme o ambiente fica climatizado, mais lenta fica a rotação. Isso faz com que o compressor trabalhe pouco tempo em sua rotação máxima. Enquanto o modelo convencional liga e desliga seguidas vezes, tendo picos de energia, o inverter trabalha com o consumo menor, pois tem seu funcionamento suavizado por causa da rotação variável conforme é ilustrado na Figura 5. Isso causa uma economia de 40% no consumo de energia. A ausência desses picos também diminui o desgaste ao aparelho, aumentando a vida útil do inverter comparado com outros modelos no mercado. Esse modelo de baixa rotação faz com que o nível de ruído seja menor em relação ao convencional.

Figura 5 – Comparação entre ar condicionado Split e convencional e inverter.



Fonte: Elgin (2021).

Já o ar condicionado tipo *chiller* pode ser encontrado de três diferentes tipos: condensação de ar, condensação de água e condensação de evaporação. Os mais comuns são os de condensação de água e condensação de ar.

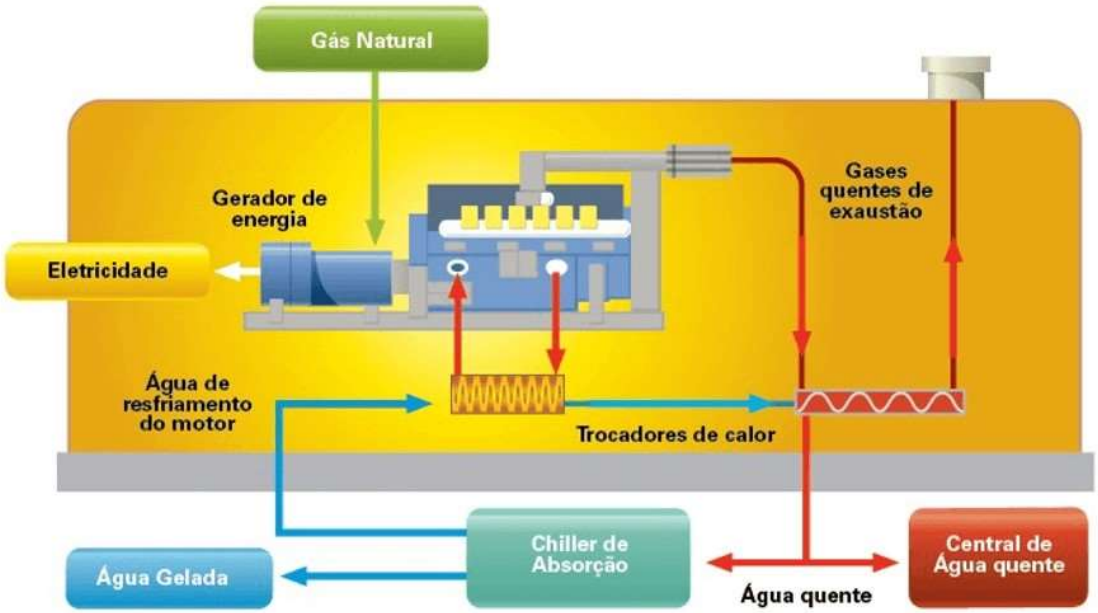
O *chiller* de condensação a água além da economia e versatilidade são silenciosos, por isso são muito utilizados em hospitais e escritórios. Dependendo do tipo de compressor podem chegar a uma potência de 2000 TR. A longo prazo, possui um ótimo custo benefício, mesmo com seu investimento inicial sendo alto.

E o *chiller* de condensação a ar que utilizam compressores scroll e parafuso. Sua potência pode chegar até 350 TR. São robustos e duráveis, sendo popularmente aplicados em sistemas de refrigeração industrial. Por serem mais robustos, possuem poucas partes móveis. Desta forma, sua manutenção é mais centralizada e simples.

Funcionamento do *chiller* é mostrado na Figura 6 em que a água é fornecida para o *chiller*. Ali, sua temperatura é reduzida para cerca de 8,9ºC. A água gelada então escoa para as serpentinas da unidade *fan-coil* (ventilador-serpentina), que está localizada no espaço a ser climatizado. Em alguns casos, um sistema central de manuseio de ar é empregado. Bombas são utilizadas para mover a água entre o *chiller* e o equipamento de manuseio de ar. A água é aquecida pelo ar da sala que é insuflada nas serpentinas de água gelada. Assim, a água atinge uma temperatura de cerca de 12,8ºC, podendo chegar a 14,4ºC em algumas instalações. A água absorve cerca de 5,5ºC de calor conforme ela é exposta ao ar da sala que está sendo succionada para o interior da unidade por sopradores. A água aquecida é bombeada de volta para o *chiller* e então resfriada novamente pela máquina, removendo o calor absorvido. Uma vez resfriada, a água a 8,9ºC está novamente pronta para ser bombeada de volta à unidade *fan-coil* ou ao sistema central de manuseio de ar. Este processo de recirculação é repetido conforme necessário para reduzir a temperatura do espaço que está sendo condicionado. Uma torre de resfriamento é utilizada para remover o calor para o exterior do edifício. A água do condensador é resfriada pela torre de resfriamento

(Miller, 2014). A temperatura da água pode chegar facilmente a temperaturas negativas, quando utilizado aditivos anticongelantes como o etilenoglicol.

Figura 6 – *Chiller* empregando água gelada.



Fonte: Tecnogera.

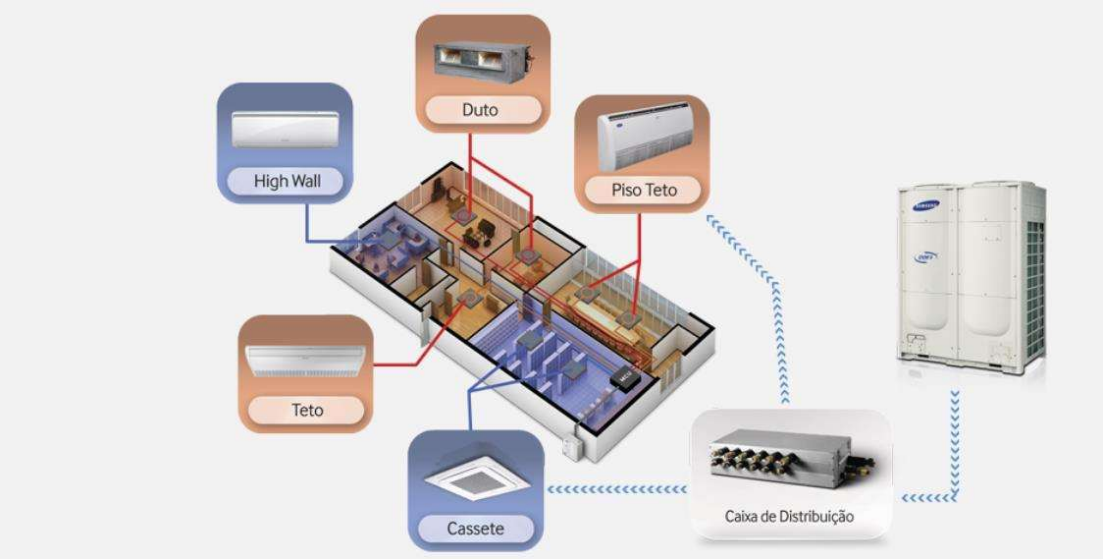
Já o VRF pode operar até sessenta e quatro unidades internas de uma única unidade externa. A principal vantagem deste sistema em relação às *multi-split* é que cada unidade interna pode operar no modo de refrigeração ou aquecimento de forma independente das outras unidades. Isso é alcançado com a coleta de refrigerante na fase de vapor e na fase líquida em recipientes. Um sofisticado sistema de controle redireciona essas duas fases do refrigerante para as unidades internas, conforme necessário. Como consequência, os sistemas de ar condicionado VRF incorporam recuperação de calor em seu modo de operação. Calor desperdiçado, por exemplo, de salas no lado sul do edifício pode ser distribuído pelo refrigerante para as unidades internas no lado norte do edifício.

De acordo com Bezerra (2018), os sistemas VRF oferecem diversas vantagens sobre as demais tecnologias de climatização, podendo destacar, entre outras vantagens, o menor espaço necessário para a instalação, pois as unidades

condensadora dos sistemas VRF necessitam de menos espaço, em comparação às tecnologias tipo multi-split de expansão direta, que necessitam da instalação de uma grande quantidade dessas unidades condensadoras, e sistemas tipo *chiller*, se for levada em consideração a capacidade térmica. Uma outra vantagem, dos sistemas VRF, em relação as demais tecnologias, é a possibilidade de ser instalado em módulos e expandir a sua capacidade, enquanto as demais tecnologias não permitem isso. Esse sistema apresenta outra vantagem, relacionada ao maior conforto ambiental, porque há a variação do fluxo refrigerante, fazendo com que a temperatura ambiental permaneça praticamente constante, conduzindo ao maior conforto térmico.

Os sistemas variáveis de fluxo de refrigerante estão se mostrando extremamente populares e são adequados para uma variedade de tipos de construção. Existe flexibilidade para misturar uma variedade de unidades internas (por exemplo, piso, parede, unidades montadas no teto e dutos) com a unidade externa correspondente, conforme ilustra a Figura 7. O usuário final pode selecionar o controlador que melhor lhe convier. O formato modular se presta a instalações em fases e, em comparação com sistemas tradicionais de ar-condicionado VRF é mais fácil de projetar e instalar.

Figura 7 – Diversidade de equipamentos internos ligados ao VRF.



Fonte: Samsung HVAC (2021).

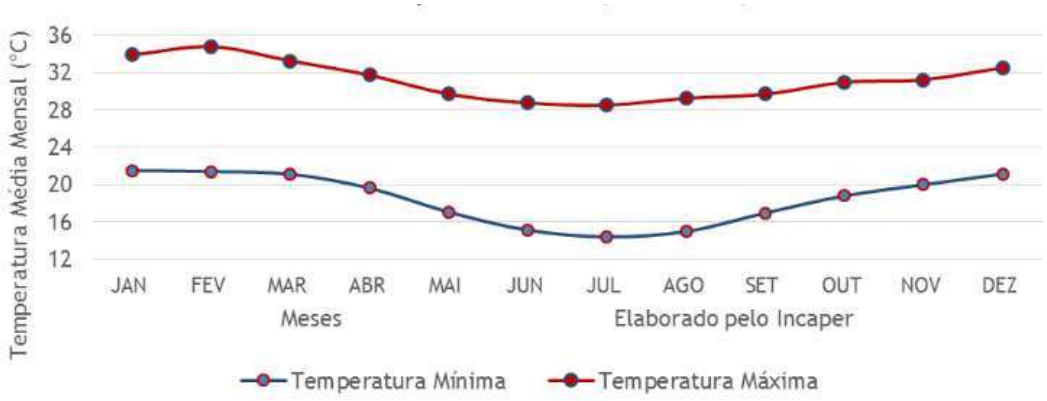
4 METODOLOGIA

Inicialmente serão analisadas as condições meteorológicas da cidade, dados de consumo elétrico no estado, consumo de energia mensal do campus, o espaço físico a ser estudado e as parcelas de carga térmica.

4.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM

As características do clima na região onde está campus tem total ligação com a utilização de ar condicionado e como consequência um alto consumo de energia elétrica. No gráfico a seguir, têm-se as temperaturas máximas e mínimas médias anual.

Gráfico 1 – Média de temperatura na cidade de Cachoeiro de Itapemirim.



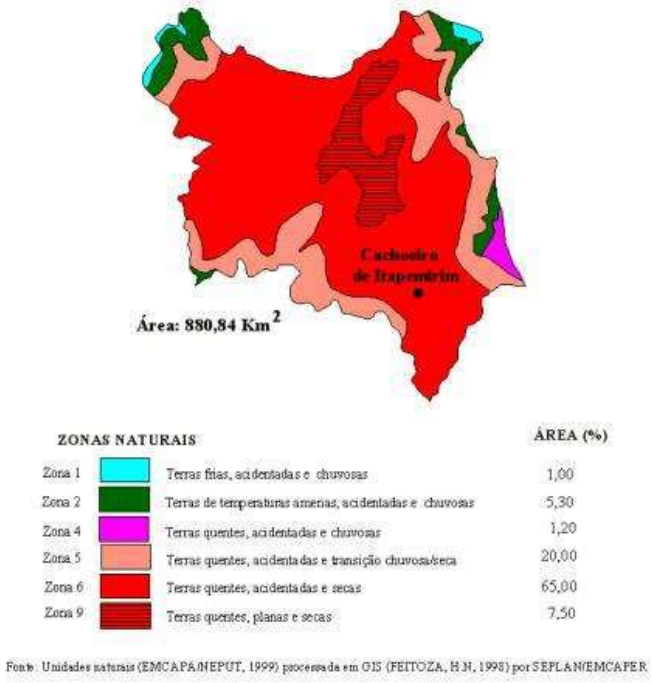
Fonte: Incaper (2020).

De acordo com a NBR 16401-2 (Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, 2008, p. 3) para dias de verão, com grupos homogêneos de pessoas usando roupa típica da estação e atividade sedentária ou leve, a temperatura operativa estar entre 22,5ºC e 25,5ºC para um umidade relativa de 65%. Desta forma, percebe-se que as temperaturas máximas médias são maiores que a temperatura máxima aceitável para as condições de parâmetro da norma. Entretanto, não se pode

concluir que apenas a temperatura do ambiente externo é um fator determinante. Uma vez que os grupos no ambiente de aula serão grupos heterogêneos e atividades diferentes.

O clima do território de Cachoeiro de Itapemirim, em sua maioria, são terras quentes como mostra na Figura 8. Na Tabela 1, mostra que as médias máximas de temperaturas têm valores entre 30,7°C e 34°C, bem como a umidade relativa da região que entre os meses de fevereiro a junho o clima parcialmente seco. Para os meses de julho a setembro climas secos e os demais meses, chuvosos.

Figura 8 – Clima de da região de Cachoeiro de Itapemirim.



Fonte: Incaper, 2022.

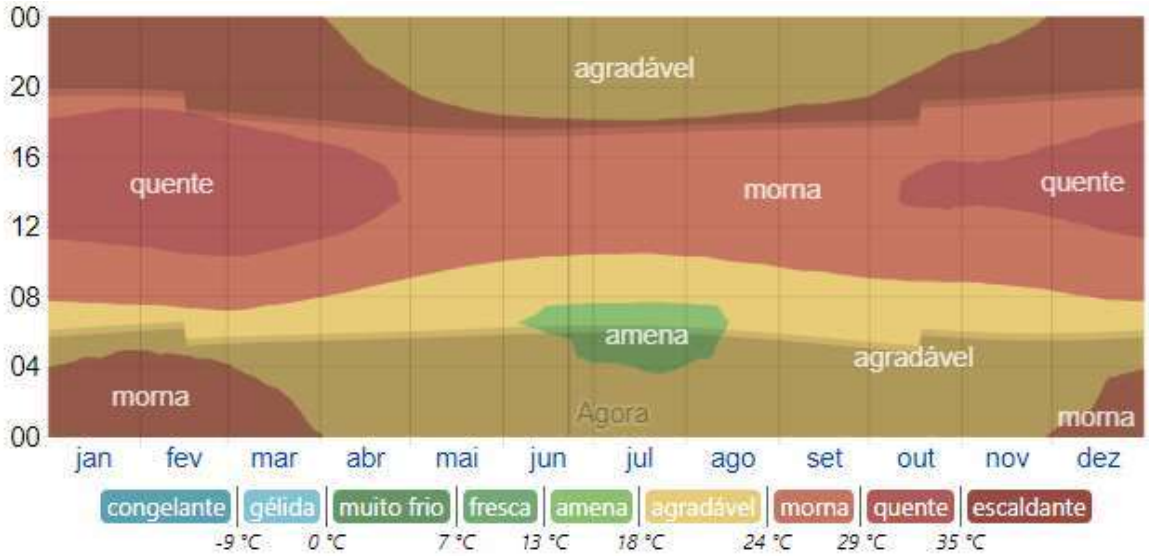
Tabela 1 – Temperatura e umidade relativa do ar.

ZONAS	Temperatura		Relevo	Água												
	Média min. Mês mais frio (°C)	média máx. mês mais quente (°C)	Declividade	Nº meses secos[2]	Meses secos, chuvosos/secos e secos[3]											
					J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zona 1: **Terras Frias, Acidentadas e Chuvosas**	7,3 – 9,4	25,3 - 27,8	> 8%	1,0	U	U	U	U	U	U	U	P	P	U	U	U
				3,0	U	U	U	U	P	P	P	S	P	U	U	U
Zona 2: **Terras de Temperaturas Amenas, Acidentadas e Chuvosas**	9,4 - 11,8	27,8 - 30,7	> 8%	1,0	U	U	U	U	U	U	U	P	P	U	U	U
				3,0	U	U	U	U	P	P	P	S	P	U	U	U
Zona 4: **Terras Quentes, Acidentadas e Chuvosas**	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	> 8%	2,5	U	P	U	U	U	P	P	P	P	U	U	U
Zona 5: **Terras Quentes, Acidentadas e Transição Chuvosa/Seca**	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	> 8%	4,5	U	P	P	P	P	P	P	S	P	U	U	U
				4,5	U	U	U	U	P	S	S	S	S	U	U	U
				5	P	P	P	P	P	P	P	S	P	U	U	U
Zona 6: **Terras Quentes, Acidentadas e Secas**	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	> 8%	6	U	P	P	P	P	P	S	S	S	P	U	U
Zona 9: **Terras Quentes, Planas e Secas**	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	< 8%	6	U	P	P	P	P	P	S	S	S	P	U	U

Fonte: Incaper, 2022.

Agora comparando com as temperaturas médias anual e por horário, tem-se o seguinte gráfico:

Gráfico 2 – Média de temperatura anual e por horário de Cachoeiro de Itapemirim.



Fonte: Weather Spark (2020).

De acordo com a NBR 16401-2 (Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, 2008, p. 3) para as mesmas condições mencionadas anteriormente, porém para dias de inverno a temperatura operativa compreende o intervalo de 21ºC a 23°C. E no Gráfico 2 percebe-se que nas estações de outono e inverno as temperaturas, no horário entre aproximadamente 11h até 17h, as temperaturas podem estar entre 24ºC a 29ºC. Ou seja, podem estar acima das temperaturas aceitáveis de conforto térmico.

4.2 CONSUMO ELÉTRICO NO ESPÍRITO SANTO

Segundo a Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSPES) o boletim de balanço energético de 2019 atualizado em março de 2020, mostra que nos últimos anos, o consumo de energia elétrica de alguns setores tem aumentado conforme a Tabela 2. No setor público em específico, a partir do ano de 2010 houve sucessivos aumentos no consumo elétrico chegando ao valor de 79,2 mil tep (toneladas equivalente de petróleo) o que equivale a aproximadamente 3,32 TW em 2018, sendo maior em 4,4% comparado ao ano de 2017.

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica por setor no Espírito Santo.

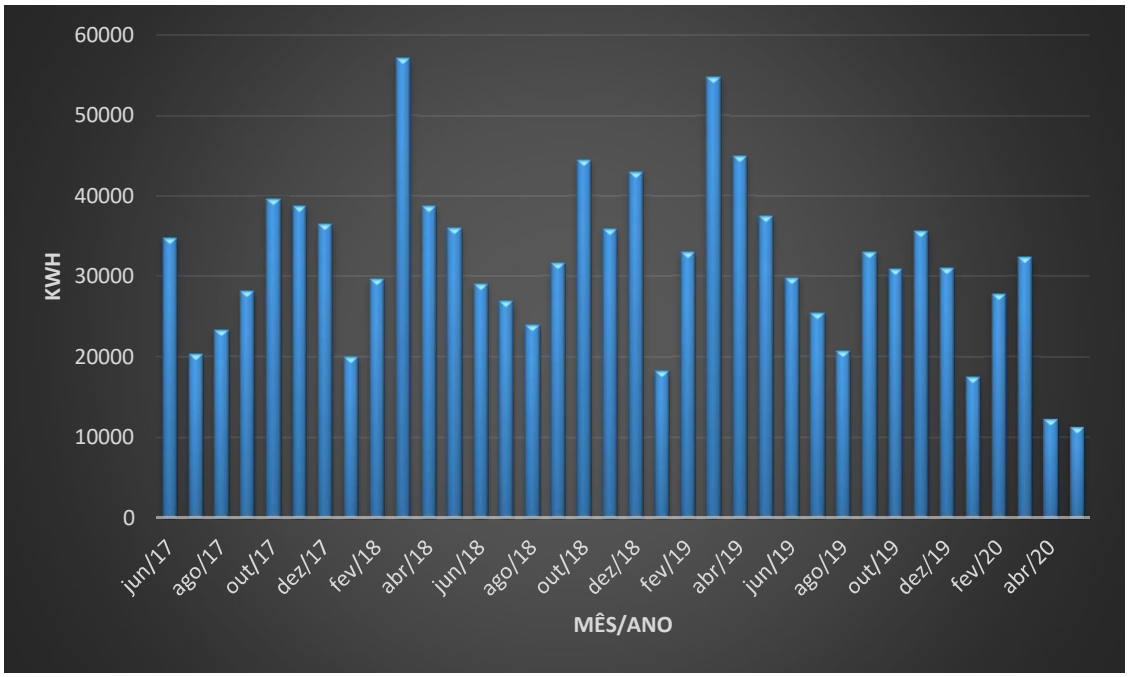
Setores de Consumo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2018/ 2017 Δ%
Industrial - Total	3.550,3	3.463,8	4.006,3	4.357,4	4.026,1	4.026,1	4.200,1	4.460,5	4.045,5	4.289,3	4.284,1	-0,1
Transportes - Total	1.075,5	1.109,6	1.267,6	1.382,1	1.494,5	1.536,3	1.625,4	1.513,5	1.439,6	1.426,1	1.444,0	1,2
Setor Energético	393,8	356,7	517,4	710,6	713,5	767,9	806,2	807,6	765,9	804,4	812,9	1,1
Residencial	269,6	283,3	299,8	305,5	312,4	324,8	341,0	343,6	342,9	358,0	356,0	-0,6
Comercial	146,2	146,5	133,7	149,9	178,4	179,4	180,1	183,4	179,7	182,9	181,2	-0,9
Agropecuário	62,2	63,2	69,9	69,8	74,6	79,6	81,0	96,4	87,6	83,5	80,6	-3,6
Consumo Não Identificado	58,8	49,1	71,3	70,6	78,9	68,9	74,7	70,8	73,0	79,1	104,3	31,9
Público	63,8	65,8	57,3	58,0	61,2	63,0	65,1	73,1	75,3	75,8	79,2	4,4
Consumo Final Não Energético	90,8	105,6	85,6	51,2	62,4	54,1	55,0	50,8	53,1	57,6	61,2	6,3
Total	**5.711,1**	**5.642,6**	**6.508,9**	**7.155,3**	**7.002,0**	**7.099,9**	**7.428,5**	**7.599,8**	**7.062,7**	**7.356,8**	**7.403,4**	**0,63**

Fonte: Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (2019).

4.3 CONSUMO ELÉTRICO DO CAMPUS

Com o histórico de consumo de energia elétrica de junho de 2017 a maio de 2020, é possível obter o seguinte gráfico:

Gráfico 3 – Consumo de energia elétrica no IFES campus Cachoeiro de Itapemirim entre junho 2017 a maio de 2020.



Fonte: Coordenação Geral de Administração, Orçamento e Finanças campus Cachoeiro de Itapemirim adaptado (2020).

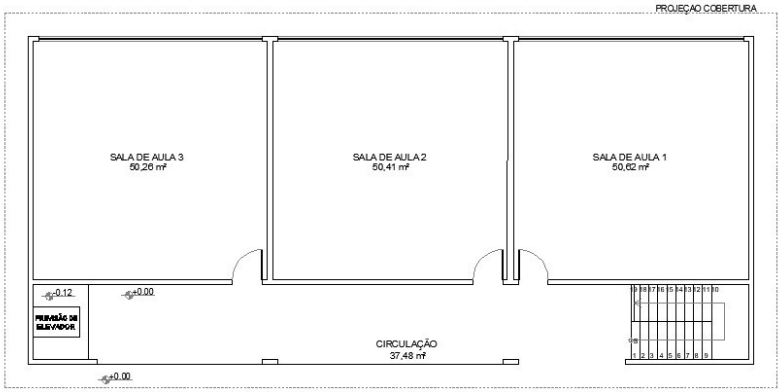
Percebe-se um padrão no consumo de energia. Nos meses de janeiro, mesmo sendo verão, o consumo é o menor do ano pois é o período de férias. Nos meses de fevereiro há um aumento significativo que é quando se inicia o período letivo. Todavia o maior comparecimento do corpo discente se faz no mês de março, quando justamente há um pico no consumo de energia elétrica. Nos cinco meses seguintes há o decréscimo do consumo, porque as temperaturas são menores com a mudança da estação, como foi discutido com o auxílio do Gráfico 1 e do Gráfico 2, consequentemente a utilização do ar condicionado é menor, diminuindo o consumo de energia elétrica nesses meses. Posteriormente, um

aumento ocasionado pelo acréscimo da temperatura com o consumo ficando entre 30000 e 45000 kWh por mês e retornando ao mês de janeiro que é o menor consumo. No entanto, não houve este padrão a partir do mês de março do ano de 2020, porque foi o momento em que o Coronavírus chegou ao Brasil sendo necessário a realização do isolamento social, onde não houve circulação de pessoas no campus. Nisso, o consumo nos meses de abril e maio foram menores até mesmo que os meses de janeiro dos anos anteriores.

4.4 ESTRUTURA ARQUITETÔNICA DO BLOCO 0.

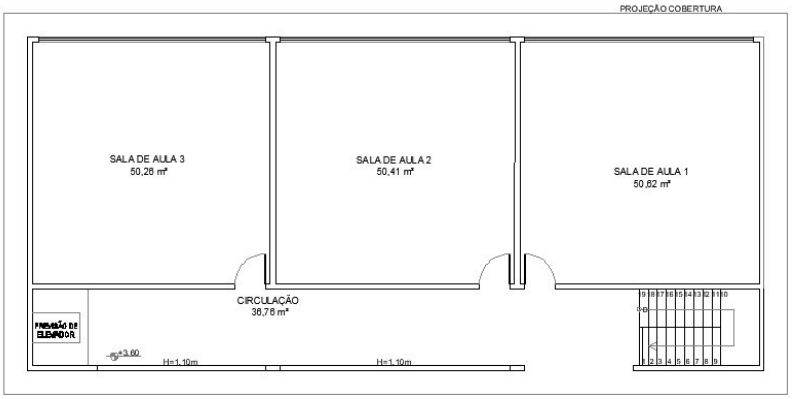
O Bloco 0 foi inaugurado no ano de 2020 é o mais novo bloco do campus e assim como os demais blocos ele possui dois andares, contendo 3 salas de aula no térreo e 3 salas de aula no segundo andar, conforme as Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Planta baixa do Bloco 0 inferior, campus Cachoeiro de Itapemirim.



Fonte: Coordenadoria de Engenharia/Manutenção Campus Cachoeiro de Itapemirim (2022).

Figura 10 – Planta baixa do Bloco 0 superior do Ifes, campus Cachoeiro de Itapemirim.



Fonte: Coordenadoria de Engenharia/Manutenção Campus Cachoeiro de Itapemirim (2022).

5 PROGRAMAS UTILADOS E MÉTODOS

5.1 ENERGYPLUS

Melo (2009), descreve objetivamente o *software* empregado neste trabalho.

> O *EnergyPlus* é um programa computacional, criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “time-step” de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar, etc.).

Além das vantagens técnicas citadas por Melo (2009) ele tem uma outra vantagem de ser *software* livre que tem sido utilizado no meio acadêmico e comercial.

5.2 SKETCHUP

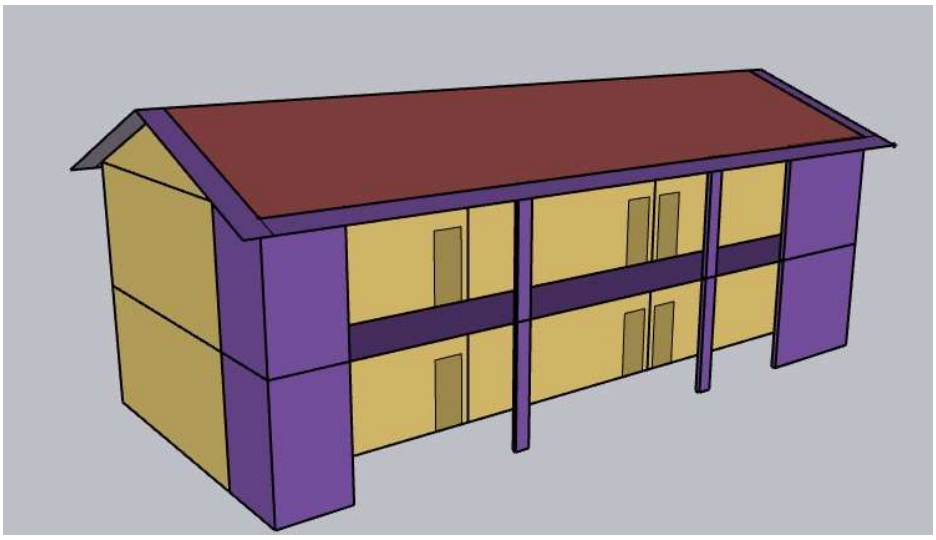
SketchUp é um software de projetos 3D de excelência que realmente faz modelagem 3D para todos, com um conjunto de ferramentas robusto e fácil de aprender, SketchUp é um software próprio para a criação de modelos em 3D no computador. Foi originalmente desenvolvido pela At Last Software. O seu *Plug-*

in Euclid é possível transmitir as informações dimensionais ao *EnergyPlus,* que sozinho seria necessário inserir as dimensões da estrutura numericamente. A versão utilizada para elaboração da edificação em 3D foi a versão teste que permite utilizar as ferramentas por um período de trinta dias.

5.3 ELABORAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

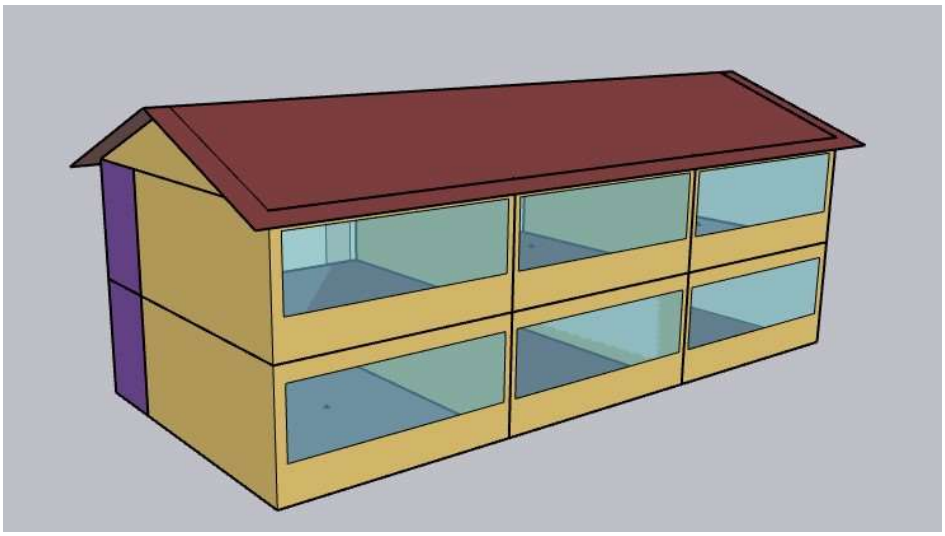
Primeiramente, é feita a representação tridimensional da edificação. Com o *Plug-in Euclid* as estruturas já são identificadas por cores para cada tipo de material e/ou sua função como mostra as Figuras 11 e 12. As paredes recebem a cor amarela, as portas também, porém mais escuras representando a madeira. O telhado tem a cor marrom, porém a parte que excede a estrutura da edificação é uma região de sombreamento e recebe a cor roxa, assim como as paredes que fazem sombra nas paredes das salas. As janelas representam muito bem o vidro mostrando o interior do ambiente. Cada ambiente deste é chamado de zona térmica. Cada zona térmica será chamada como é identificada as salas na Instituição, como por exemplo, B0S1I, que representa Bloco 0, sala 1 inferior. Desta forma, as três salas do térreo são B0S1I, B0S2I e B0S3I. Já para as três salas do segundo piso são B0S1S, B0S2S e B0S3S.

Figura 11 – Vista em perspectiva da faixada do Bloco 0.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Vista em perspectiva da parte posterior do Bloco 0.



Fonte: Próprio autor.

Desta forma, o *Energy Plus* já receberá as informações da estrutura, de cada zona térmica, das portas, janelas e sombreamento em forma de coordernadas, como mostrado na Figura 13. Caso contrário, seria necessário a inserção dessas dados de forma manual.

Figura 13 – Dados das coordenadas da estrutura do Bloco 0 no *EnergyPlus.*

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		B0S2I	B0S3I	B0S2S	B0S3S	B0S1I	B0S1S	Telhado
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	9,083557	1,290314	8,653268	1,20103	17,32822	18,98469	7,84006
Y Origin	m	4,360203	4,270819	4,329147	5,327903	4,924655	4,357234	5,595822
Z Origin	m	0	0	3,6	3,6	0	3,6	7,2
Type								
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m							
Volume	m3							
Floor Area	m2	0	0	0	0	0	0	0
Zone Inside Convection Algorithm								
Zone Outside Convection Algorithm								
Part of Total Floor Area								

Fonte: Próprio autor.

5.4 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

5.4.1 *Schedule: Compact* (Agenda: Resumida)

Nesta *class list* (lista de classe) é definido os parâmetros como ocupação das salas, a iluminação e as horas de utilização do ar condicionado, como mostra a Figura 14, com base nos horários de aula de cada turno. A ocupação é parametrizada com valores entre 0 e 1, onde zero representa a sala vazia e 1 é 100% do total de ocupação. A iluminação e o ar condicionado representam ligados ou desligados. Já a taxa metabólica para alunos e professores foi adotada para atividades típicas de escritório, conforme ASHRAE *Handbook – Fundamentals (SI),* (2017), escrevendo para alunos (60 W/m²) e andando para professores (100W/m²), pois é atividade contida no manual que mais se aproxima das atividades em sala de aula.

Figura 14 – *Schedule Compact.*

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Ocupacao	Iluminacao Salas	Taxa Metabolica Al	Taxa Metabolica Pr	Total	Ar Condicionado	Zero	Sch_Pico	Sch_Estacao	Sch_Fora_Pic
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/3
Field 2	varies	For: WeekDays	For: Weekdays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: AllDays	For:Weekdays	For:Alldays	For:Alldays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 07:00	Until: 24:00	Until:19:00	Until:24:00	Until:24:00
Field 4	varies	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3
Field 5	varies	Until: 09:30	Until: 09:30	Until: 22:00	Until: 22:00	Until:22:00	Until: 09:30		Until:21:00		
Field 6	varies	1	1	60	100	1	1		1		
Field 7	varies	Until: 09:50	Until:09:50	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 09:50		Until:24:00		
Field 8	varies	.3	0	0	0	0	0		3		
Field 9	varies	Until: 12:20	Until: 12:00	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	For AllOtherDays	Until: 12:20		For:AllOtherDays		
Field 10	varies	1	1	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	1		Until:24:00		
Field 11	varies	Until:13:00	Until: 13:00	0	0	0	Until:13:00		3		
Field 12	varies	0	0				0				
Field 13	varies	Until:15:30	Until:15:30				Until:15:30				
Field 14	varies	1	1				1				
Field 15	varies	Until:15:50	Until:15:50				Until:15:50				
Field 16	varies	.3	0				0				
Field 17	varies	Until:18:20	Until:22:00				Until:22:00				
Field 18	varies	1	1				1				

Fonte: Próprio autor.

5.4.2 *Material* (Material)

Em *Material* são inseridos os materiais que compõem a edificação com as suas propriedades físicas e térmicas, sendo as principais condutividade térmica, densidade e calor específico de acordo com a NBR 15220. Na Figura 15 é ilustrado alguns dos materiais com suas respectivas propriedades que foram utilizados.

Figura 15 – Materiais e suas propriedades físicas e térmicas.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Tijolo 9cm	Tijolo 12cm	TelhaCeramica	Argamassa Media	MantaTermica	Radier Concreto 10	Piso Ceramico 1cm	PVC	F08 Metal surface	Madeira
Roughness		Rough	Rough	MediumRough	MediumSmooth	VerySmooth	Rough	Smooth	Smooth	Smooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,045	0,06	0,01	0,025	0,0001	0,1	0,01	0,01	0,0008	0,035
Conductivity	W/m-K	0,9	0,9	0,9	1,15	230	1,75	0,9	0,2	45,28	0,12
Density	kg/m3	1600	1600	1600	1600	2700	2400	1600	1400	7824	608
Specific Heat	J/kg-K	920	920	920	920	880	1000	920	100	500	230
Thermal Absorptance		0,95	0,95	0,95	0,9	0,05	0,8	0,3			
Solar Absorptance		0,8	0,8	0,8	0,4	0,05	0,7	0,4			
Visible Absorptance		0,8	0,8	0,8	0,4	0,05	0,7	0,4			

Fonte: Próprio autor.

5.4.3 Construction (Construção)

Os materiais com suas propriedades físicas e térmicas agora são selecionados para cada parte construtiva que compõe a edificação. Quando há regiões paralelas, com por exemplo, as paredes externa e interna (*Exterior Wall* e *Interior Wall*) as camadas devem ser inseridas de modo que sejam em sequências opostas, para que o programa entenda que são superfícies conexas, como é mostrado na Figura 16, que acabou sendo a mesma sequência.

Figura 16 – Composição das partes construtivas da edificação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer		Radier Concreto 10	Radier Concreto 10	Argamassa Media	Argamassa Media	TelhaCeramica	Radier Concreto 10	Clear 3mm	Clear 3mm	Madeira	Madeira
Layer 2		Argamassa Media	Argamassa Media	Tijolo 9cm	Tijolo 9cm		Argamassa Media				
Layer 3				F04 Wall air space r	F04 Wall air space r						
Layer 4				Tijolo 9cm	Tijolo 9cm						
Layer 5				Argamassa Media	Argamassa Media						
Layer 6											
Layer 7											
Layer 8											
Layer 9											

Fonte: Próprio autor.

5.4.4 People (Pessoas)

Cada *object* (objeto) dessa classe é inserido os dados em relação à ocupação de pessoas no local a ser arrefecido. Como mostra a Figura 17, os objetivos recebem um nome para ser identificado (neste caso aluno e professor para as respectivas salas), que possuem níveis de atividades diferentes,

consequentemente taxas metabólicas diferentes, a zona térmica que as pessoas estarão presentes, a agenda resumida (*schedule compact)*, que é o “ocupacão”.

Figura 17 – Ocupação de pessoas nas zonas térmicas.

Field	Units	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Alunos S2I	Professor S2I	Alunos S3I	Professor S3I	AlunoS S1S	Professor S1S	Alunos S2S	Professor S2S	Alunos S3S	Professor S3S
Zone or ZoneList Name		B0S2I	B0S2I	B0S3I	B0S3I	B0S1S	B0S1S	B0S2S	B0S2S	B0S3S	B0S3S
Number of People Schedule Name		Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao	Ocupacao
Number of People Calculation Method		People	People	People	People	People	People	People	People	People	People
Number of People		40	1	40	1	40	1	40	1	40	1
People per Zone Floor Area	person/m2										
Zone Floor Area per Person	m2/person										
Fraction Radiant		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Taxa Metabolica Alu	Taxa Metabolica Pr	Taxa Metabolica Alu	Taxa Metabolica Pr	Taxa Metabolica Alu	Taxa Metabolica Pr	Taxa Metabolica Alu	Taxa Metabolica Pr	Taxa Metabolica Alu	Taxa Metaboli
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAverage
Surface Name/Angle Factor List Name											
Work Efficiency Schedule Name											
Clothing Insulation Calculation Method											
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name											
Clothing Insulation Schedule Name											
Air Velocity Schedule Name											

Fonte: Próprio autor.

5.4.5 *Lights* (Iluminação)

Quanto a iluminação, cada objeto é nomeado de acordo com a sala ou zonas térmicas. O *Schedule* (agenda) para este parâmetro é referente aos horários de utilização das lâmpadas definidas no *Schedule Compact (*Agenda Resumida). O método de cálculo utilizado é Watts/área e que segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) de 2010, a Densidade de Potência de Iluminação Limite para escola Escola/Universidade é de 12,3 W/m² que foi adotado para todas as salas, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Densidade de Potência de Iluminação Limite utilizada.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Iluminacao S1I	Iluminacao S2I	Iluminacao S3I	Iluminacao S1S	Iluminacao S2S	Iluminacao S3S
Zone or ZoneList Name		B0S1I	B0S2I	B0S3I	B0S1S	B0S2S	B0S3S
Schedule Name		Iluminacao Salas	Iluminacao Salas	Iluminacao Salas	Iluminacao Salas	Iluminacao Salas	Iluminacao Salas
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W						
Watts per Zone Floor Area	W/m2	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Watts per Person	W/person						
Return Air Fraction							
Fraction Radiant							
Fraction Visible							
Fraction Replaceable		1	1	1	1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperatur		No	No	No	No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co							

Fonte: Próprio autor.

5.4.6 *Eletric Equipaments* (Equipamentos elétricos)

Os objetos dos equipamentos elétricos são nomeados de acordo com a identificação das salas ou zona térmica a qual eles pertencem. Quanto ao *schedule name* ou o nome da agenda é de acordo com o objeto Total, que seria referente a soma das taxas de calor dissipado por equipamentos de acordo com o Anexo C da NBR 16401-1 Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projetos das Instalações. Os valores totais para cada sala é de 265 W, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Potência dissipada por equipamentos elétricos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Equipamentos BOS1	Equipamentos BOS2	Equipamentos BOS3	Equipamentos BOS1	Equipamentos BOS2	Equipamentos BOS3
Zone or ZoneList Name		BOS1I	BOS2I	BOS3I	BOS1S	BOS2S	BOS3S
Schedule Name		Total	Total	Total	Total	Total	Total
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	265	265	265	265	265	265
Watts per Zone Floor Area	W/m2						
Watts per Person	W/person						
Fraction Latent							
Fraction Radiant							
Fraction Lost							
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General

Fonte: Próprio Autor.

5.4.7 *HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) Templates* (Modelos de aquecedores, ventiladores e ar condicionados)

Nesta lista classe serão definidos os tipos de sistema de arrefecimento, as unidades de cada zona térmica e o termostato. O primeiro a ser definido é o termostato com suas temperaturas de aquecimento e resfriamento, como mostrado na Figura 20. Para aquecimento foi escolhida 10°C, pois o clima da região não tem temperaturas a esta magnitude de forma que não é necessário a utilização desta função.

Figura 20 – Temperaturas do termostato.

Field	Units	Obj1
Name		Constant Setpoint T
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	10
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	24

Fonte: Próprio autor.

Para o tipo de sistema unitário cada sala de aula possui sua unidade de ar condicionado. Atualmente, nas salas possuem até duas unidades condicionadoras de ar, mas para fins de cálculo será considerado como apenas uma. Cada objeto de sistema unitário é nomeado de acordo com a identificação das salas, o tipo de agenda que está relacionado e qual zona térmica irá atender, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Sistemas unitários para cada zona térmica.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Ar Sala 1I	Ar Sala 2I	Ar Sala 3I	Ar Sala 1S	Ar Sala 2S	Ar Sala 3S
System Availability Schedule Name		Ar Condicionado	Ar Condicionado	Ar Condicionado	Ar Condicionado	Ar Condicionado	Ar Condicionado
Control Zone or Thermostat Location Name		B0S1I	B0S2I	B0S3I	B0S1S	B0S2S	B0S3S
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		HVACTemplate:Sys	HVACTemplate:Sys	HVACTemplate:Sys	HVACTemplate:Sys	HVACTemplate:Sys	HVACTemplate:Sys
Supply Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	600	600	600	600	600	600
Supply Fan Motor Efficiency		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1	1	1	1	1	1
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name							
Cooling Design Supply Air Temperature	C	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric
Heating Coil Availability Schedule Name							
Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50
Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W						

Fonte: Próprio autor.

Uma vez definido o tipo de sistema para cada sala, agora é definido as unidades internas de cada zona térmica assim como é mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Unidades internas para o tipo de Sistema Unitário.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		B0S1I	B0S2I	B0S3I	B0S1S	B0S2S	B0S3S
Template Unitary System Name		Ar Sala 1I	Ar Sala 2I	Ar Sala 3I	Ar Sala 1S	Ar Sala 2S	Ar Sala 3S
Template Thermostat Name		Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor							
Zone Cooling Sizing Factor							
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2						
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s						
Supply Plenum Name							
Return Plenum Name							
Baseboard Heating Type		None	None	None	None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name							
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Met		SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Differenc	deltaC	11,11	11,11	11,11	11,11	11,11	11,11
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Mel		SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer	SystemSupplyAirTer
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Differenc	deltaC	30	30	30	30	30	30

Fonte: Próprio autor.

Da mesma forma é feito para o tipo de sistema VRF, porém quando definido o tipo de sistema, para este caso em específico, possui apenas uma unidade externa, nomeada de Unidade B0, como mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Sistema do tipo VRF

Field	Units	Obj1
Name		Unidade B0
System Availability Schedule Name		Ar Condicionado
Gross Rated Total Cooling Capacity	W	22,4
Gross Rated Cooling COP	W/W	5,21
Minimum Outdoor Temperature in Cooling Mode	C	-6
Maximum Outdoor Temperature in Cooling Mode	C	43
Gross Rated Heating Capacity	W	autosize
Rated Heating Capacity Sizing Ratio	W/W	1
Gross Rated Heating COP	W/W	3,4
Minimum Outdoor Temperature in Heating Mode	C	-20
Maximum Outdoor Temperature in Heating Mode	C	16
Minimum Heat Pump Part-Load Ratio	dimensionless	0,15
Zone Name for Master Thermostat Location		
Master Thermostat Priority Control Type		ThermostatOffsetPri
Thermostat Priority Schedule Name		
Heat Pump Waste Heat Recovery		No
Equivalent Piping Length used for Piping Correction Fac	m	30
Vertical Height used for Piping Correction Factor	m	10
Equivalent Piping Length used for Piping Correction Fac	m	30
Crankcase Heater Power per Compressor	W	33
Number of Compressors	dimensionless	2

Fonte: Próprio autor.

E para as unidades internas, todas elas farão referência à única unidade unidade externa (Unidade B0) como é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Unidades internas para o tipo de Sistema VRF.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		B0S1I	B0S2I	B0S3I	B0S1S	B0S2S	B0S3S
Template VRF System Name		Unidade B0	Unidade B0	Unidade B0	Unidade B0	Unidade B0	Unidade B0
Template Thermostat Name		Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T
Zone Heating Sizing Factor							
Zone Cooling Sizing Factor							
Rated Total Heating Capacity Sizing Ratio	W/W	1	1	1	1	1	1
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
No Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
No Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Heating Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
No Load Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2						
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s						
Design Specification Outdoor Air Object Name							
Design Specification Zone Air Distribution Object Name							
System Availability Schedule Name							
Supply Fan Operating Mode Schedule Name							

Fonte: Próprio autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrado os resultados das simulações para os dois tipos de sistema de ar condicionado, o sistema unitário e o sistema VRF.

6.1 SISTEMA UNITÁRIO

A Tabela 2 mostra as cargas térmicas encontradas na simulação para as salas utilizando sistemas unitários em Watts (W) e o valor correspondente em BTU. Já no apêndice constam os gráficos de temperaturas anual de cada zona térmica calculados na simulação.

Tabela 3 – Carga térmica calculada.

Sala	B0S1I	B0S2I	B0S3I	B0S1S	B0S2S	B0S3S
Carga térmica (W)	11.113,45	11.747,67	12.020,06	9.898,77	10.049,35	10.340,22
Conversão em BTU	37.929,86	40.094,44	41.024,10	33.784,20	34.298,12	35.290,85

Fonte: Próprio autor.

Os aparelhos de climatização instalados hoje no edifício atendem a carga de resfriamento das salas S1S, S2S e S3S, pois tem dois aparelhos de 18.000 BTU em cada sala, como mostra a Figura 25. Já nas salas S1I, S2I e S3I, as cargas estão um pouco acima da capacidade do sistema instalado, podendo não atender em estações e horários em que há maior demanda. Estas diferenças das cargas térmicas do piso inferior serem maiores que as cargas térmicas do

piso superior acontece por causa das transferências de calor envolvidas. Tanto o térreo como o piso superior recebem radiação dos raios solares, entretanto piso inferior recebe por condução o calor no solo. Já o piso superior, possui um espaço entre a laje e o telhado, então a transferência de calor que ocorre é a convecção de forma natural. O calor transferido por convecção será menor que o calor transferido por condução além de que o pavimento superior tem em contato a laje do pavimento inferior que é climatizada. Além da carga térmica o resultado da simulação estima um total de energia consumida anual de 19.652,76 kWh.

Figura 25 – Aparelhos de ar condicionado do Bloco 0.

ITEM	BLOCO	AMBIENTE	TIPO	MARCA	BTU
1	B0 - Inferior	Sala de aula 1	S	Elgin	18.000
2			S	Elgin	18.000
3		Sala de aula 2	S	Elgin	18.000
4			S	Elgin	18.000
5		Sala de aula 3	S	Elgin	18.000
6			S	Elgin	18.000
7	B0 - Superior	Sala de aula 1	S	Elgin	18.000
8			S	Elgin	18.000
9		Sala de aula 2	S	Elgin	18.000
10			S	Elgin	18.000
11		Sala de aula 3	S	Elgin	18.000
12			S	Elgin	18.000

Fonte: Coordenadoria de Engenharia/Manutenção Campus Cachoeiro de Itapemirim (2022).

6.2 SISTEMA VRF

Como esperado, a carga térmica encontrada na simulação para este tipo de sistema é a mesma encontrada no sistema anterior, mostrada na Tabela 2. Entretanto, a estimativa de energia consumida anual é de 8.059,61 kWh. Um consumo anual inferior em 59% em relação ao sistema unitário.

Esta diferença de consumo acontece devido ao COP do sistema VRF ser maior que a do sistema unitário. A carga térmica total do Bloco 0 encontrada é de aproximadamente 65 kW. Conforme o catálogo da Hitachi mostrado na Figura 26 o equipamento que atende a esta carga de resfriamento é o modelo RAS-24HN(R)W de 24 HP com o COP DE 4,68 W/W, enquanto que o COP utilizado para o sistema unitário na simulação foi de 3,1W/W.

Analisando os dados de 2018 em que o consumo anual foi de 415.777,1kWh e os dados obtidos nas simulações, o sistema unitário representou um valor estimado de 4,72% do consumo anual, ao passo que as análises para o sistema VRF representaria um valor estimado de 1,93%. Do consumo total do campus, o qual é composto por 17 blocos, essa redução representaria um valor estimado de até 2,8% do consumo total do Instituto se esse *retrofit* fosse aplicado somente para p Bloco 0.

Figura 26 – Modelos de ar condicionado VRF.

HP			20HP	22HP	24HP	26HP	28HP	30HP
Modelo			RAS-200HNCEL(R)WS	RAS-220HNCEL(R)WS	RAS-240HNCEL(R)WS	RAS-260HNCEL(R)WS	RAS-280HNCEL(R)WS	RAS-300HNCEL(R)WS
Módulos para as séries	Unid.-1		RAS-100HNCEL(R)W	RAS-100HNCEL(R)W	RAS-120HNCEL(R)W	RAS-140HNCEL(R)W	RAS-140HNCEL(R)W	RAS-160HNCEL(R)W
	Unid.-2		RAS-100HNCEL(R)W	RAS-120HNCEL(R)W	RAS-120HNCEL(R)W	RAS-120HNCEL(R)W	RAS-140HNCEL(R)W	RAS-140HNCEL(R)W
	Unid.-3		-	-	-	-	-	-
	Unid.-4		-	-	-	-	-	-
Fonte de alimentação			AC 3F+N, 380 V / 60 Hz (Tipo HNCELW) AC 3F, 220 V/60 Hz (Tipo HNCERW)					
Dimensões	Altura	mm	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650
	Profundidade	mm	2,200	2,200	2,200	2,340	2,480	2,480
	Largura	mm	420	420	420	420	420	420
Capacidade	Resfriamento	kW	56.0	61.5	67.0	73.5	80.0	85.0
	Aquecimento	kW	63.0	69.0	75.0	82.5	90.0	95.0
Desempenho	EER	-	4.26	4.26	4.27	4.03	3.85	3.82
	COP	-	4.44	4.56	4.68	4.52	4.40	4.40
Diâmetro de Tubulação	Gás	mm	28.58	28.58	28.58	31.75	31.75	31.75
	Líquido	mm	15.88	15.88	15.88	19.05	19.05	19.05
Un. Int. conectáveis	Recomendado	Qtd	18	20	26	26	32	32
	Máximo	Qtd	33	36	40	43	47	50
Simultaneidade		%	50 - 130	50 - 130	50 - 130	50 - 130	50 - 130	50 - 130

Fonte: Catálogo Hitachi, 2022.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Serão abordadas as conclusões feitas após as análises das simulações e algumas sugestões de trabalhos futuros.

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento correto de ambientes a serem climatizados é uma das maneiras de evitar consumo excessivo por sistemas subdimensionados ou altos investimentos em sistemas superdimensionados. A escolha por sistemas mais modernos e eficientes também contribuem um consumo menor. Desta maneira, por simulação foi possível avaliar o dimensionamento da carga térmica e estimar a redução de consumo caso houvesse sido escolhido um sistema do tipo VRF para o Bloco 0. Em valores tarifários, no ano de 2018 foi arrecadado pela concessionária de energia um montante de R$434.522,8 e considerando que

houvesse essa redução de 2,8% no consumo anual o Ifes deixaria de pagar R$12.166,63 no ano, apenas com a escolha do ar condicionado do tipo VRF. Reforça-se que qualquer análise financeira de custos de instalação e manutenção foram desconsideradas.

7.2 PERSPECTIVAS FUTURAS.

Há várias formas de contribuir para melhoria quando se trata de consumo de energia, ainda mais no quesito de ar condicionado. Algumas delas são:

- Avaliar a consumo caso fosse utilizado o sistema VRF nos demais blocos;
- Utilizar fontes de energias renováveis como painéis solares;
- Avaliar outro tipo de sistema de ar condicionado;
- Melhorias na edificação para certifica-la como edifício verde como projeto piloto;
- Considerar diferentes tipos de materiais que constitui a construção;
- Formas de isolamentos térmicos da edificação;
- Entre outras.

8 REFERÊNCIAS

ANEEL. **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia.** Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4101&id_area=90>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

ARSP. **Balanço energético do Espírito Santo 2019**. Disponível em: <https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Boletins/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico/BalancoEnergetico2019.pdf>. Acessado em: 10 de junho de 2020.

ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*. Atlanta, 1993.

ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. COMITÊ BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO. **NBR 16401-1**: Instalação de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

BEZERRA, H.B.S. **Levantamento e Diagnósticos de Sistemas de Refrigeração Ambiental e Propostas de Melhoria de Eficiência para Edifícios do Campus Central da UFRN.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

BRILEY, G. C. A History of Refrigeration. *100 Years of Refrigeration* . ASHRAE Journal, 2002.

CAMPAMHOLA, F. P; MICHELS, A; MARTINS, G.M. **Avaliação de sistemas de condicionamento de ar para salas de prédios públicos**. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

CARRIER, C. A. *Handbook of air conditioning system design.* McGRAW-HILL, (1966).

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. LTC, 2004.

CHUA, K. J.*et al.* Achieving better energy-efficient air conditioning: A review of Technologies. ELSEVIER, 2013.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa**: Fundamentos e aplicações. Mc Graw Hill, 2007.

ELETROFRIGOR. **O que é um *Chiller*? Saiba tudo sobre o sistema de refrigeração que está mudando o mercado**. Disponível em: <https://blog.eletrofrigor.com.br/o-que-e-um-chiller/>. Acesso em: 11 de junho de 2020.

EPE. **Empresa de Pesquisa energética.** Disponível em:< http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario/>. Acessado em: 04 de agosto de 2022.

GOETZLER, W. *Variable Refrigerant Flow Systemss.* ASHRAE Journal, 2007.

GODOI, J. M. A; JÚNIOR, S. OLIVEIRA. Gestão da Eficiência Energética. *In: International Works Advances in Cleaner Production*, 2, 2009 São Paulo, Brasil.

GRONDZIK, W. T. ***Air-conditioning system design manual***. Buttherworth-Heinnemaneinneman, 2007.

GRUNBERG, P. R. M; MEDEIROS, M. H. F; TAVARES, S. F. **Environmental certification for habitations: comparison between LEED for Homes, Aqua Process and "Selo Casa Azul".** 2014.

INCAPER. **Dados médio da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim/ES (Pacotuba).** Disponível em: https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-cachoeiro_de_itapemirim>. Acessado em: 06 de agosto de 2022.

MARAN, Marcos. **Modernização de sistema de ar condicionado. Estudo de caso de implementação de melhorias para um edifício de escritórios.** Universidade de São Paulo, 2005.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; MATOS, Michele. **Apostila do curso básico do programa *EnergyPlus*.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

MILLER, R; MILLER, R. M. **Ar-Condicionado e Refrigeração**. LTC, 2014.

MORAN, Michael J; SHAPIRO, Howard N; BOETTNER, Daisie D; BAILEY, Margaret B. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. LTC, 2013.

MS AR CONDICIONADO. **Tecnologia VRF:** Solução e economia para grandes projetos. Disponível em: <https://www.msarcondicionado.com.br/sistema-vrf-vrv/>. Acesso em 27 de maio de 2020.

NAGENGAST, B. 100 years o fair conditionig. ASHRAE Journal, 2002.

NICHOLLS, R. **Heating Ventilations anda ir conditioning.** Aldham, 2001.

PITA, E. G. **Air conditioning principles and systmes.** New Jersey. Prentice Hall, 2002.

PROCEL; ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil.** 2008.

PROCEL. Selo PROCEL de edificações. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}> Acesso em: 1 de setembro de 2020.

REES, J. **Refrigeration**: A history of ice, aplpliances, and enterprese in America, Mayland, Baltimore. 2013.

STOECKER, W. F; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado**. Mc Graw Hill, 1985.

TECNOGERA. Locação de geradores de energia. Disponível em;< https://www.tecnogera.com.br/blog/o-que-e-um-chiller-industrial> Acesso em 7 de agosto de 2020.

TREMEA, H. L; RONCHETTI. B. **Aplicação de equipamentos self-contained com fluidos LOW-GWP para refrigeração industrial**: Uma opção para grandes instalações em centros urbanos, 2018.

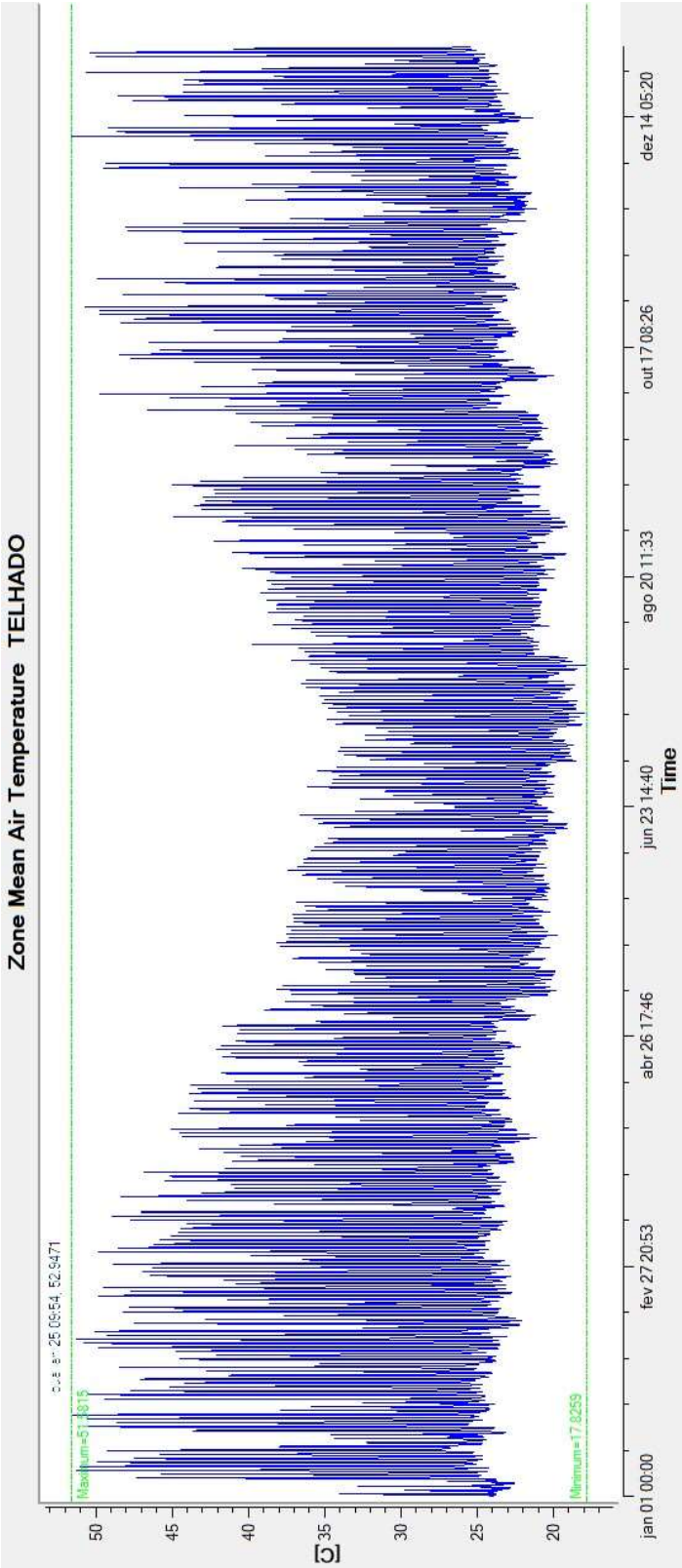
WEATHER SPARK. **Climate and Average Weather Year Round in Cachoeiro de Itapemirim.** Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30783/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Cachoeiro-de-Itapemirim-Brasil-durante-o-ano#Sections-Temperature> Acesso em: 22 de junho de 2020.

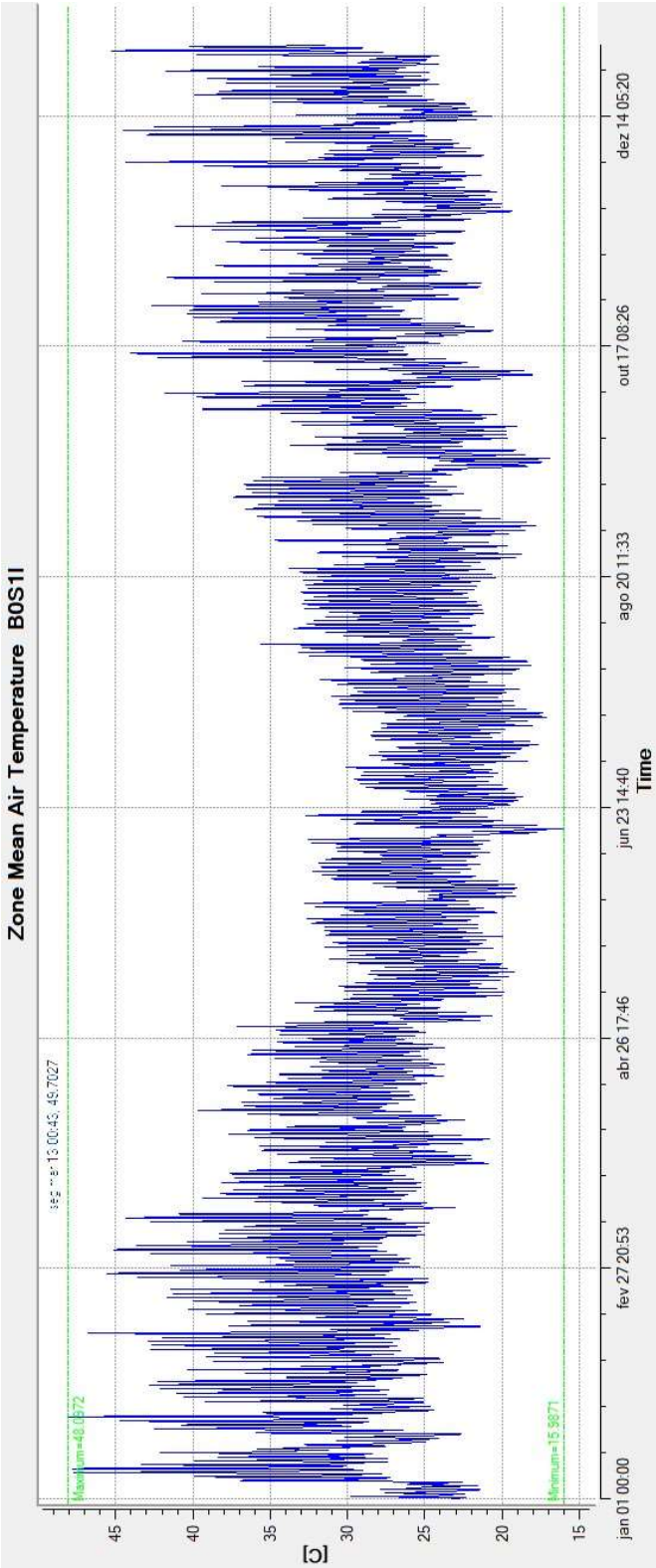
WEB AR CONDICIONADO. **A história do ar-condicionado:** Linha do tempo completa. Disponível em: https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado Acesso em: 23 de julho de 2020.

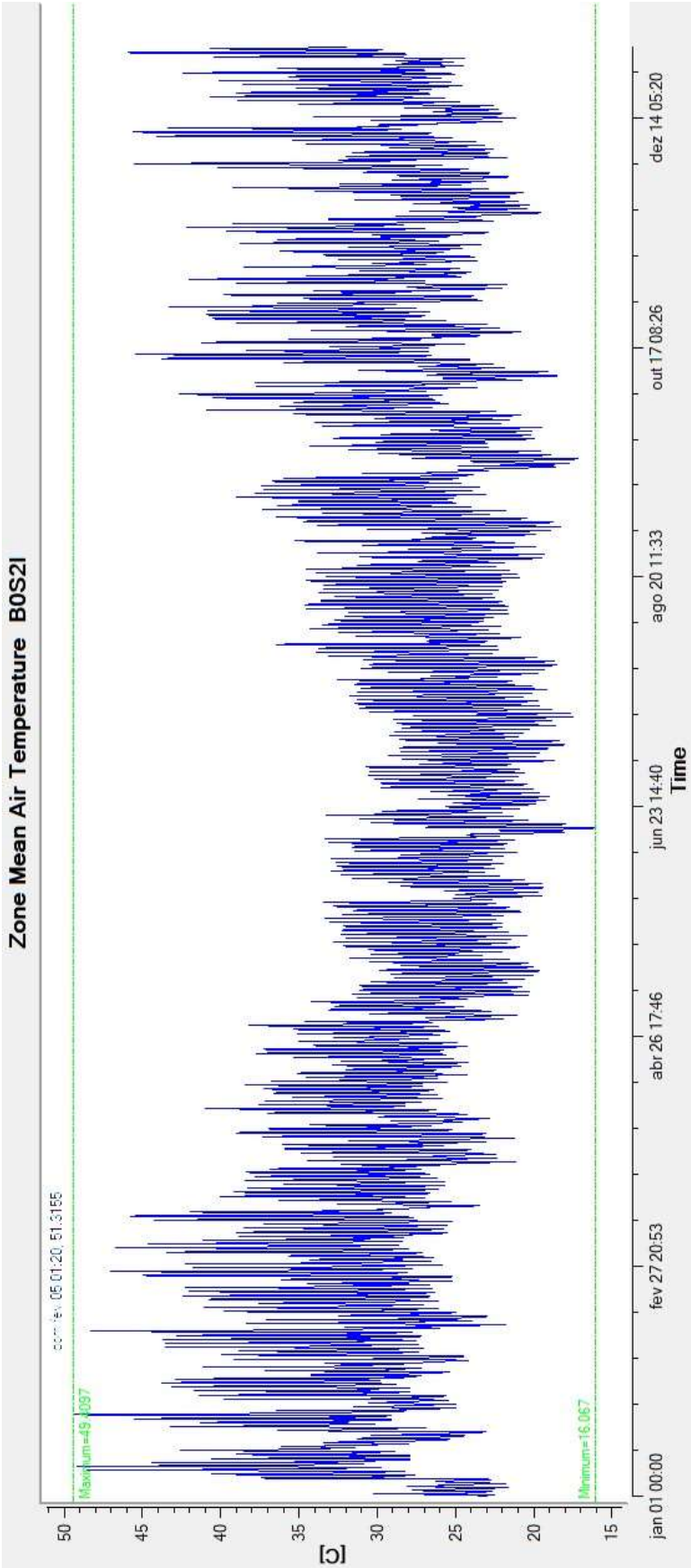
YONG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. **Física 1:** Mecânica. Pearson, 2008.

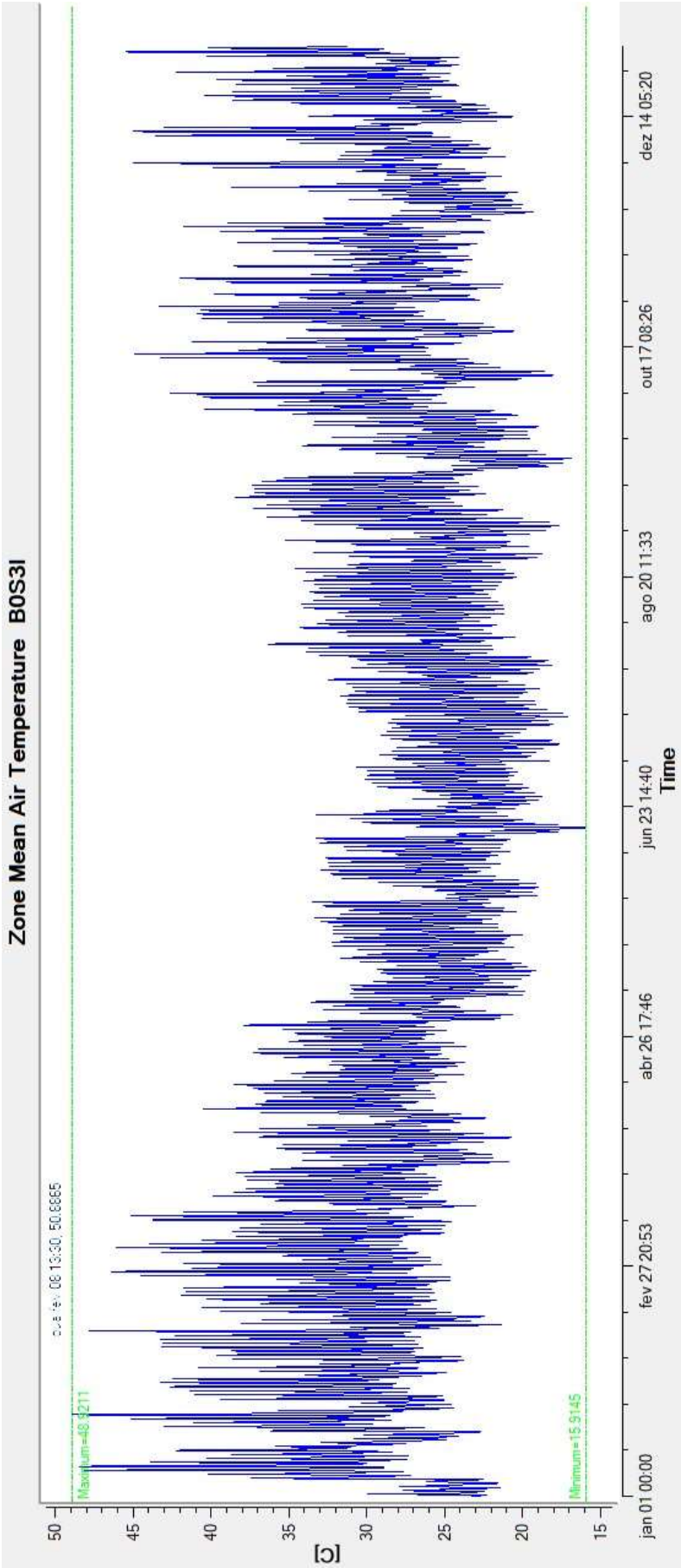
9 APÊNDICE

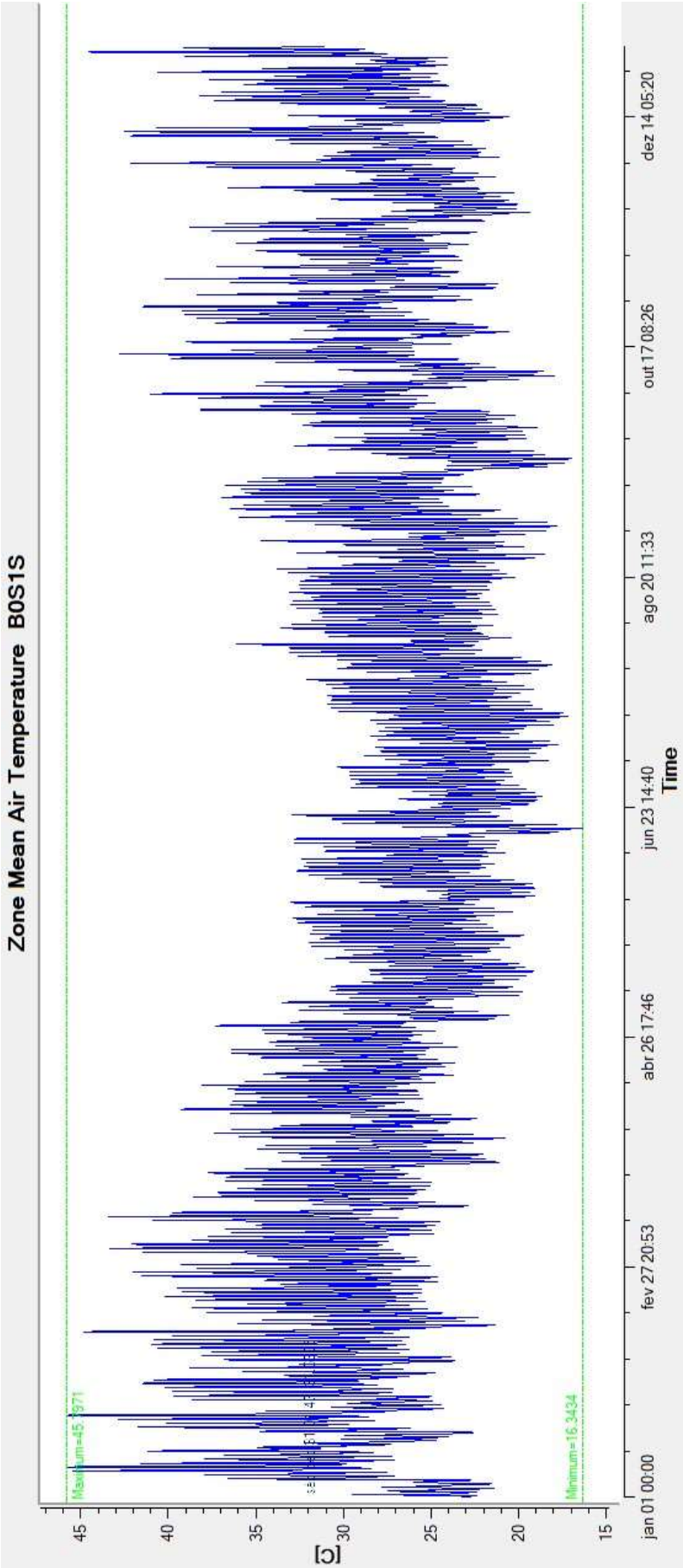
Gráficos de temperatura anual para cada zona térmica

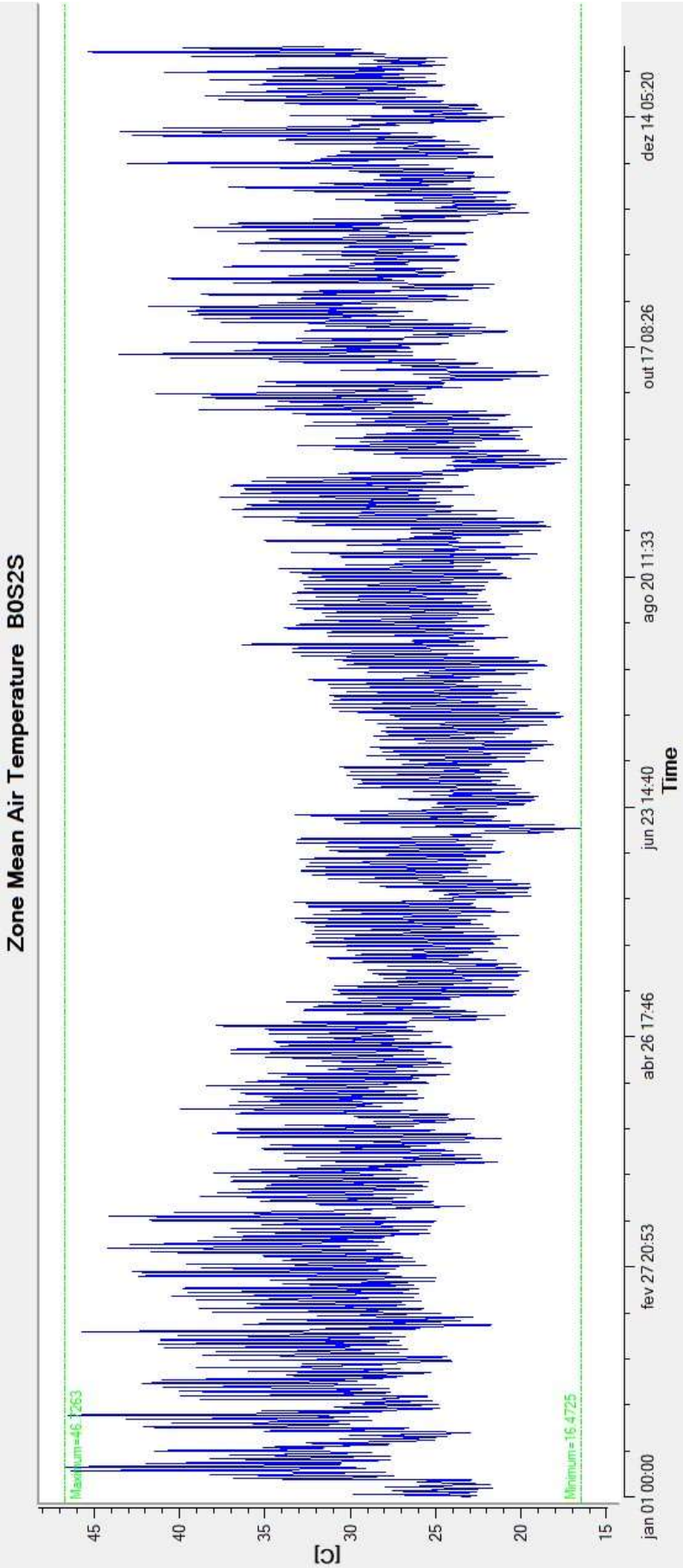


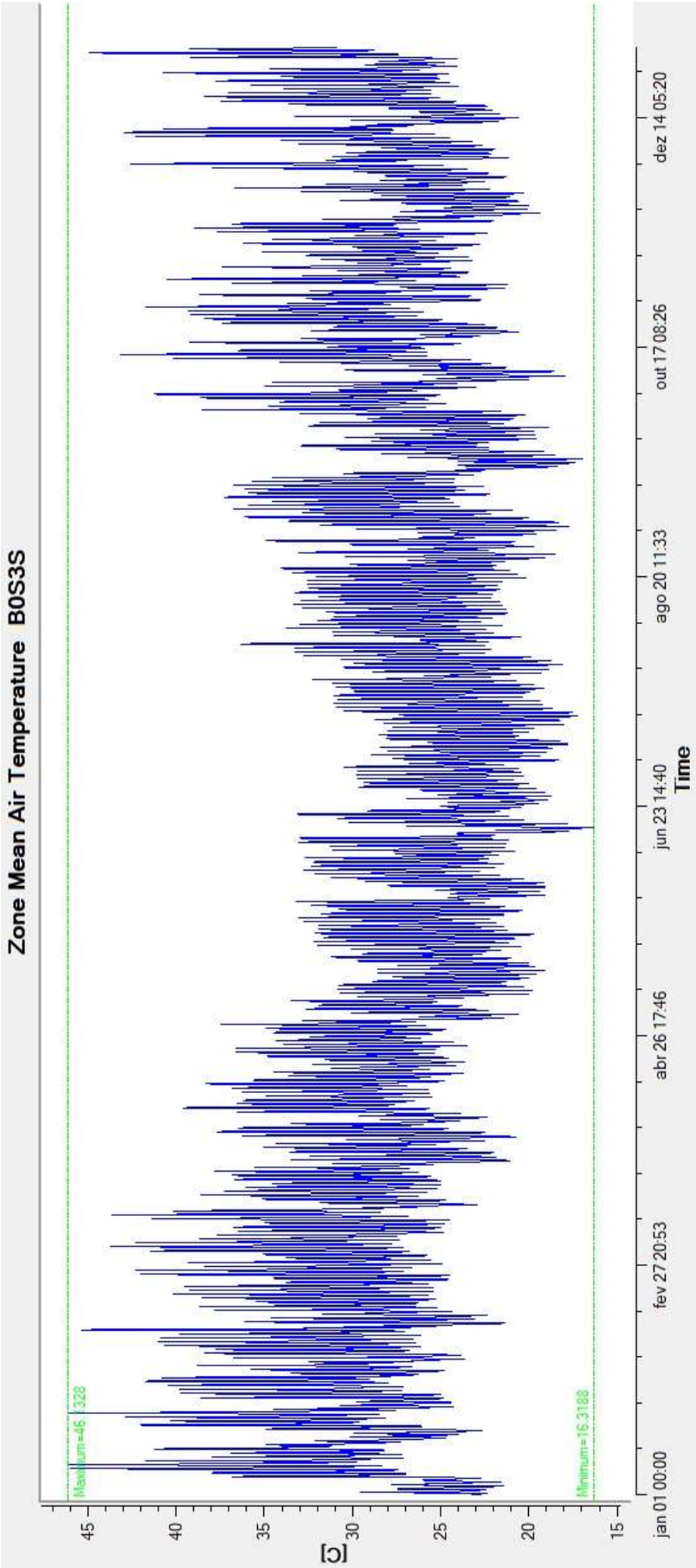

Zone Mean Air Temperature B0S1I
Maximum=48.0872
Minimum=15.5871
[C]
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time


Zone Mean Air Temperature B0S2I
Maximum=49.0997
Minimum=16.067
[C]
50
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time


Zone Mean Air Temperature B0S3I
Maximum=48.9211
Minimum=15.9145
[C]
50
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time


Zone Mean Air Temperature B0S1S
Maximum=45.1971
Minimum=16.3434
[C]
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time


Zone Mean Air Temperature B0S2S
Maximum=46.1363
Minimum=16.4725
[C]
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time


Zone Mean Air Temperature B0S3S
Maximum=46.328
Minimum=16.3188
[C]
45
40
35
30
25
20
15
jan 01 00:00
fev 27 20:53
abr 26 17:46
jun 23 14:40
ago 20 11:33
out 17 08:26
dez 14 05:20
Time