

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ALBERTO ROSSI JUNIOR

COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SPLIT E VRF PARA CLIMATIZAÇÃO

CASCADEL – PR
2020

ALBERTO ROSSI JUNIOR

COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SPLIT E VRF PARA CLIMATIZAÇÃO

Trabalho apresentado como critério para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

Professor orientador: **Eng. Mec. Rogerio Luiz Ludegero.**

**CASCADEL – PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALBERTO ROSSI JUNIOR

COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SPLIT E VRF PARA CLIMATIZAÇÃO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eng. Mec. Rogerio Luiz Ludegero.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Eng. Mec. Rogerio Luiz Ludegero
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro de Controle e Automação

Professor Geovane Duarte Pinheiro
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Professor Msc. MBA. Sergio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 23de junho de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar este tão esperado momento em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais Alberto e Marines que nunca mediram esforços nem um dia em correr atrás das necessidades da família e não me deixara desanimar na caminhada em busca da graduação. Aos dois meu muito obrigado por serem exemplos de perseverança, amor e garra.

Aos professores que me ensinara e me aturaram todos estes anos, principalmente o professor Carlos Alberto Breda e meu orientador professor Rogerio Luiz Ludegero, pelas orientações e ensinamentos, que levarei para a vida profissional e pessoal com muito respeito.

Aos colegas de profissão: Engenheiro Mecânico Cassiano Collet, Engenheiro Mecânico Caio Valeriano Prange, Engenheiro Mecânico Willyan Cesar Pivotto Rodrigues nunca desistirem de ensinar o que sabem.

Aos inúmeros amigos que fiz na faculdade que dividiram dias e noites de estudo para concluirmos esta fase de nossas vidas.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo comparar o consumo de energia dos principais sistemas de ar condicionado existentes no mercado atual, utilizados em agências financeiras, grandes escritórios, clínicas, hospitais entre outros. Os sistemas de ar condicionado selecionados para serem analisados, foram Split e VRF (Fluxo de refrigerante variável) ambos operando a 220v/60hz. Com posse dos projetos de climatização, estruturais, plantas de forro, iluminação e com equipamentos previamente selecionados e orçados, com auxílio dos manuais fornecidos pelos fabricantes de ambos aos sistemas (Split e VRF (Fluxo de refrigerante variável)) foi calculado o consumo mensal necessário em KW para que estes possam climatizar de forma adequada todos os ambientes em ambos os sistemas. Através das análises conclui-se que o sistema de ar condicionado do tipo VRF (Fluxo de refrigerante variável) apresentou o consumo de energia de aproximadamente 23,5% menor que no sistema de ar condicionado tipo Split mostrando uma economia significativa para o cliente.

Palavras Chave: Climatização, Split, VRF

ABSTRACT

This work aims to compare the energy consumption of the main air conditioning systems in the current market, used in financial agencies, large offices, clinics, hospitals, among others. The air conditioning systems selected to be analyzed were Split and VRF (Variable refrigerant flow) both operating at 220v / 60hz. With the possession of the air conditioning and structural projects, lining plants, lighting and with previously selected and budgeted equipment, with the help of manuals provided by the manufacturers of both systems (Split and VRF (Variable refrigerant flow)), the required monthly consumption was calculated. in KW so that they can adequately climate all environments in both systems. Through the analysis it is concluded that the air conditioning system of the VRF type (Variable refrigerant flow) presented an energy consumption of approximately 23.5% lower than in the air conditioning system type Split showing a significant savings for the customer.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

R-134a – Gás Refrigerante.

R-12 – Gás Refrigerante.

CFC – Substância contendo Cloro, Flúor e Carbono.

COP – Coeficiente de Performance.

GWP – Fator de Aquecimento Global.

SDO – Substância que Destrói a Camada de Ozônio.

HCFC – Substância contendo Hidrogênio, Cloro, Flúor e Carbono.

M – Mega.

Pa – Unidade de pressão em Pascal.

bar – Unidade de pressão.

°C – Unidade de temperatura em Graus Celsius.

KW – Quilowatts.

KJ – Quilojoules.

h – Unidade de tempo em Horas.

s – Unidade de tempo em Segundos.

kg – Quilogramas.

KCal – Unidade de energia em quilo calorias.

MMA – Ministério do Meio Ambiente

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo básico de refrigeração	17
Figura 2: Circuito sistema VRF	18
Figura 3: Sistema split.....	19
Figura 4: Evaporador de Tubo Liso	20
Figura 5: Evaporador de Placa	21
Figura 6: Evaporador Aletado	22
Figura 7: Condensador refrigerado a ar.....	23
Figura 8: Condensador refrigerado a água	24
Figura 9: Compressor rotativo	25
Figura 10: Fluido refrigerante R-134a	28
Figura 11: Dados elétricos unidades externas VRF	33
Figura 12: Dados elétricos unidades internas VRF	34
Figura 13: Legenda Projeto VRF	35
Figura 14: Planta sistema VRF	36
Figura 15: Planta Lage Técnica sistema VRF	37
Figura 16: Dados elétricos unidades Split Cassete 360° ECO.....	40
Figura 17: Dados elétricos unidades Split Piso Teto ECO	41
Figura 18: Dados elétricos unidades Split Hi-Wall ECO POWER.....	42

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do consumo de energia:.....	30
Equação 2 – Cálculo do consumo de energia, sistema com múltiplas unidades:.....	30
Equação 3 – Cálculo do consumo de energia mensal:.....	30
Equação 4 – Variação do consumo de energia:.....	31
Equação 5 – Cálculo do consumo de energia, sistema com múltiplas unidades:.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivos Gerais	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 PROBLEMATIZAÇÃO	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 RECURSOS ENERGÉTICOS.....	16
2.2 SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO	16
2.3 AR CONDICIONADO	17
2.4 VRF.....	18
2.5 SPLIT.....	18
2.6 EVAPORADOR.....	19
2.6.1 Evaporadores de Tubo Liso	20
2.6.2 Evaporadores de Placa.....	21
2.6.3 Evaporadores de Aletas	22
2.7 CONDENSADORA	22
2.7.1 Refrigerado a Ar	23
2.7.2 Refrigerado a Água.....	24
2.8 COMPRESSOR.....	25
2.8.1 Compressor Rotativo	25
2.8.2 Compressor Inverter	26
2.9 VALVULA DE EXPANSÃO	26
2.9.1 Válvula de expansão por capilares	26
2.9.2 Válvula de expansão eletrônica	26
2.10 PSICROMETRIA.....	26
2.11 NORMA NBR 16401	27
2.12 FLUIDO REFRIGERANTE: HFC, CFC	27
2.13 CONFORTO TÉRMICO.....	28
2.14 TERMODINÂMICA.....	28
2.15 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	28

2.16 CALOR.....	29
2.17 CALOR SENSÍVEL.....	29
2.18 CALOR LATENTE.....	29
2.19 CONSUMO DE ENERGIA	30
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 ANALISE DOS SISTEMAS.....	32
3.1.1 Sistema VRF.....	32
3.1.2 Sistema Split.....	39
3 RESULTADOS.....	44
4.1 DIFERENÇA DE CONSUMO	44
4.2 CONCLUSÃO.....	45
5 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de climatização está deixando de ser um luxo e passando a ser uma necessidade nos dias atuais, mostrando a extrema necessidade de sistemas de ar condicionado em diversas empresas, estes sistemas representam grande parte dos gastos com energia elétrica.

(Assunção, 2013) Instituições financeiras utilizam destes sistemas durante grande parte do dia e o consumo de energia destes sistemas representa grande parte do custo de operação destas empresas.

Dentre os vários sistemas presentes no mercado, os sistemas Split e VRF (Fluxo de refrigerante variável) são os mais utilizados, porém a diferença de custo de implementação e o consumo de energia elétrica de ambos deixa em dúvida qual deles possui a melhor relação entre custo e benefício.

(Assunção, 2013) O sistema com maior popularidade tanto para uso domiciliar quanto comercial é do tipo Split, pois possui um baixo custo de implementação, porém o sistema VRF tem se tornado cada vez mais popular em inúmeros usos comerciais que exigem que o sistema opere por longos períodos em múltiplos ambientes simultaneamente, pois além de ter um consumo de energia relativamente menor que o sistema Split, também possui uma manutenção mais simplificada, fazendo com que esta economia com eletricidade e manutenção compense seu maior custo de implementação.

Com a necessidade de climatização em ambientes de trabalho como escritórios e agências financeiras e a grande influência destes sistemas nos gastos com energia elétrica surge a necessidade de encontrar o sistema com melhor eficiência e menor consumo de energia elétrica, de acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes de tais sistemas (Hitachi e Elgin) será feita esta análise para encontrar qual sistema oferece um menor consumo de energia.

Será avaliado qual sistema de refrigeração terá menor consumo de energia para uma agência financeira, usando como base uma agência situada na cidade de Cascavel – Pr. Já temos em mãos os cálculos onde está definido quais equipamentos deverão suprir a demanda frigorífica do prédio, devemos definir qual será o consumo mensal de energia elétrica dos sistemas Split e VRF, para definir qual possui o menor consumo de energia para o cliente (Agência Financeira).

Através dos dados fornecidos pelos fabricantes, horários de funcionamento e com os equipamentos definidos através dos cálculos de carga térmica e análise dos projetos

arquitetônicos e estruturais do prédio, podemos definir qual sistema terá a menor consumo para o cliente.

Através de pesquisas bibliográficas com base nos dados fornecidos pelos fabricantes será analisado ambos os sistemas e posteriormente comparado o consumo de ambos.

Foi utilizado tabelas de consumo de energia fornecidas pelos fabricantes de ambos os sistemas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Comparar o consumo de energia dos principais sistema de climatização para uma agência financeira não governamental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Calcular o consumo mensal de energia do equipamento de ar condicionado no sistema Split em KW por mês.
- Mensurar o consumo mensal de energia do equipamento de ar condicionado no sistema VRF em KW por mês.
- Comparar o consumo de energia dos equipamentos de ambos os sistemas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com grande necessidade de climatização em ambientes de trabalho como escritórios e agencias financeiras e a grande influência destes sistemas nos gastos com energia elétrica surge a necessidade de encontrar o sistema com menor consumo de energia elétrica, para que com estes dados seja possível definir qual sistema será mais viável para cada cliente de acordo com os custos de cada obra.

Esta pesquisa será aplicada há uma agencia especifica e seus resultados se aplicam somente a mesma, porém os mesmos cálculos podem ser utilizados em diversas localidades e

em diferentes ramos de atuação como grandes escritórios, instituições de ensino, hospitais entre outros.

(Assunção, 2013) Os sistemas do tipo Split possuem um custo de implementação menor porem apresenta um consumo de energia elevado em relação a outros sistemas que podemos encontrar no mercado, outro sistema que ganha destaque na utilização em grandes escritórios, bancos e diversos outros ambientes que necessitam de climatização em múltiplos ambientes do mesmo estabelecimento simultaneamente é o VRF (Fluxo de refrigerante variável), que pode gerenciar inúmeras evaporadoras de diferentes modelos em diversos ambientes simultaneamente, este sistema possui um maior custo de implementação porem com uso extensivo em ambientes como o citado acima a economia de energia elétrica pode compensar este maior custo de implementação ao longo de sua vida útil.

De acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes de tais sistemas (Elgin e Hitachi) será feito esta análise para encontrar qual sistema oferece menor consumo de energia.

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

Qual sistema de climatização possui o menor consumo de energia mensal? (Split ou VRF)

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será aplicada a uma agencia financeira não governamental situada na cidade de Cascavel-Pr.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSOS ENERGÉTICOS

Segundo a ANEL Recursos energéticos são as reservas ou fluxos de energia disponíveis na natureza e que podem ser usados para suprir às necessidades humanas, sendo classificadas essencialmente como recursos fósseis ou como recursos renováveis. Recursos referem-se aos estoques de materiais que acumulam energia química, armazenada primariamente a partir da radiação solar em épocas geológicas, como é o caso do petróleo, carvão mineral, turfa, gás natural, xisto betuminoso, também podendo acumular energia atômica na configuração de material físsil, como por exemplo o urânio e o tório. Enquanto as reservas de energia físsil são essencialmente finitas e se reduzem à medida em que são consumidas, os recursos energéticos renováveis são dados por fluxos naturais, como acontece na energia solar, em suas inúmeras formas, como na energia hidráulica, na energia eólica, na energia das ondas do mar e na energia da biomassa, bem como nos fluxos energéticos dependentes do movimento planetário, por exemplo, a energia talassomotriz, associada à variação do nível do mar nas marés e à energia geotérmica, que na escala das realizações humanas existe não deve ser finita. É necessário observar que a utilização imprópria de alguns potenciais energéticos renováveis pode gerar seu esgotamento, como acontece em reservatórios geotérmicos sobre explorados ou nos recursos de biomassa, quando explorados acima de sua taxa natural de reposição. Assim, se uma reserva florestal for explorada além de sua taxa típica de renovação sustentável, este recurso energético perderá seu caráter de renovabilidade.

2.2 SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

Segundo a ANEL o Brasil com aproximadamente 8,5 milhões de quilômetros quadrados, mais de 7 mil quilômetros de litoral e condições edafoclimáticas extremamente favoráveis, o Brasil possui um dos maiores potenciais energéticos do mundo. Se, por um lado, as reservas de combustíveis fósseis são relativamente restritas, por outro, o potencial para geração de eletricidade é suficientemente abundante para garantir a autossuficiência energética do país. No entanto, apenas duas fontes energéticas (hidráulica e petróleo) têm sido extensivamente aproveitadas. A geração Hidráulica representa cerca de 90% do suprimento de energia elétrica do país, e o petróleo representa mais de 30% da matriz energética nacional.

Apesar da importância dessas fontes, a circunstância atual do setor elétrico brasileiro, indica que o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas.

2.3 AR CONDINIONADO

Segundo Ribeiro, 2013, O trabalho do ar-condicionado consiste em circular ar do ambiente através de um conjunto de serpentinas preenchidas por um líquido refrigerante.

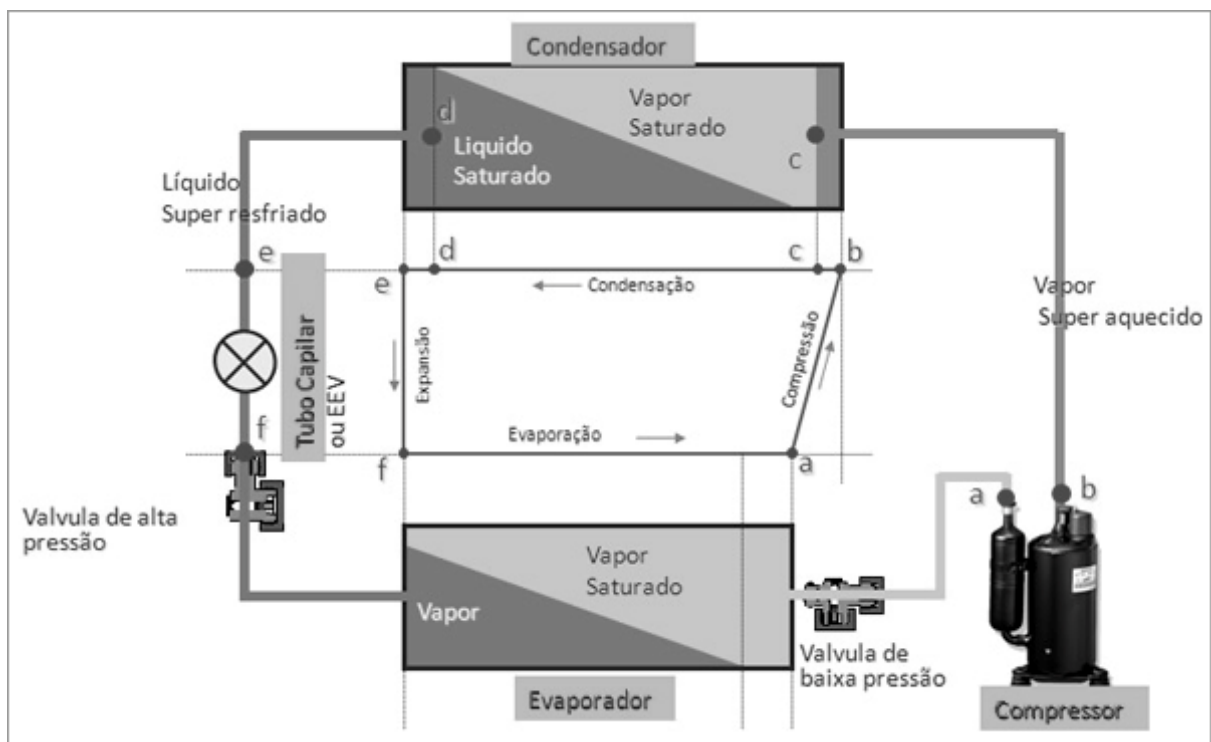


Figura 1: Ciclo básico de refrigeração

Fonte: a.didas (2019)

2.4 VRF

Segundo Assunção, 2013 O sistema VRF (Fluxo de refrigerante variável), tipo de ar condicionado com apenas uma unidade externa ligada a variadas unidades internas operando individualmente, oferece a comodidade de poder controlar a temperatura de um ambiente de forma singular e também reduz o consumo de energia.

Com a capacidade de variar a potência elétrica do compressor e variar a vazão de fluido com a válvula de expansão eletrônica, de acordo com a demanda por gás refrigerante das unidades internas do sistema, otimizando o sistema e reduzindo o consumo de energia elétrica.

Os cálculos para o dimensionamento do sistema VRF são feitos através de softwares fornecido pelos fabricantes do sistema, onde será determinado as dimensões das tubulações, como também o tipo de ramificações e restrições do sistema.

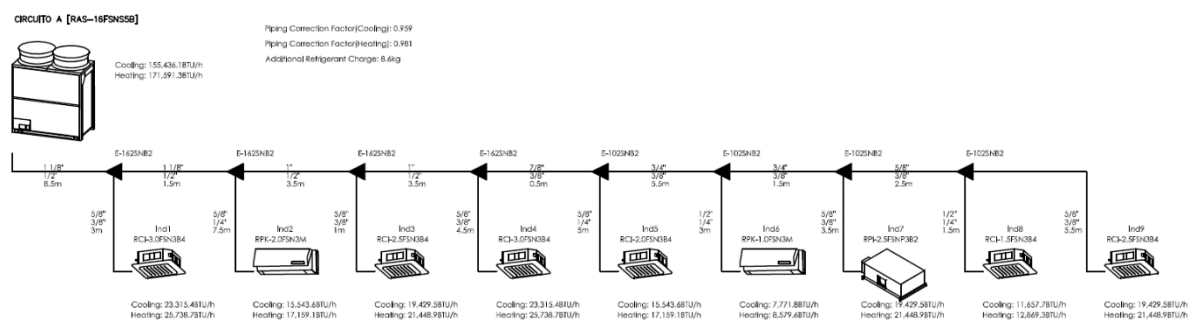


Figura 2: Circuito sistema VRF

Fonte: Software Global VRF (2019)

2.5 SPLIT

Segundo Grass, 2013, O sistema split é composto por duas unidades, uma externa e uma interna, sendo ambas as unidades ligadas através de tubulação de cobre por onde ocorre a circulação do fluido refrigerante.

Seu compressor não possui a capacidade de variar a potência como no sistema VRF e funciona sempre a carga plena, possui válvula de expansão por capilares.

Este sistema é muito difundido no mercado pois atende desde pequenos ambientes residenciais até grandes ambientes dos mais diversos tipos.



Figura 3: Sistema split

Fonte: eletrolux (2019)

2.6 EVAPORADOR

Segundo Dossat (1980) um evaporador é qualquer superfície de transmissão de calor na qual o fluido volátil é vaporizado com o intuito de remover calor de um ambiente ou produto refrigerado. Por causa das muitas e distintas aplicações de refrigeração mecânica, os evaporadores são fabricados em uma ampla variedade de tipos, formas, tamanhos e concepções, e podem ser classificados em um número de diferentes modos, tais como tipo de construção, método de alimentação dos fluidos, condições de operação, método de circulação de fluido (ar ou líquido), tipo de controle de refrigerante, e aplicação.

Durante o ciclo de evaporação, o evaporador recebe o líquido comprimido a uma determinada temperatura e pressão. Ao receber este fluido neste estado ele pode evaporar o fluido e reduzir drasticamente sua temperatura e fazer com que este vapor percorra as serpentinas do evaporador para a troca térmica.

Entre os principais tipos de evaporadores destacam-se as construções do tipo de tubo liso, de placa e com aletas.

Para uma melhor compreensão Dossat explica:

2.6.1 Evaporadores de Tubo Liso

Os evaporadores de tubo liso geralmente são construídos ou de tubulação de aço ou de cobre. A tubulação de aço é usada para evaporadores grandes e para serem usados com amônia, enquanto que a canalização de cobre é utilizada na fabricação de evaporadores menores, destinados mais para o uso de outros refrigerantes do que amônia. Serpentinhas de tubo liso são acessíveis em um número de tamanhos, formas e projetos, e feitas geralmente para aplicação individual. As formas comuns para serpentinhas de tubo liso são planas, em ziguezague e em forma de trombone oval. As serpentinhas de tubo liso em espiral são muitas vezes empregadas para resfriamento de líquido.

Serpentinhas de tubulação lisa de tetos moveis grandes, empregando circulação de ar de convecção natural são usadas frequentemente em câmaras de armazenagem frigorífica e em refrigeradores de armazenagem onde é necessária a circulação de grandes quantidades de ar a baixa velocidade. São usadas também, ou como serpentinhas “secas” ou de “vaporização”, em conjunto com ventiladores centrífugos para fornecer o ar resfriado a alta velocidade para resfriamento a jato ou operações de congelamento (DOSSAT, 1980, p,321).

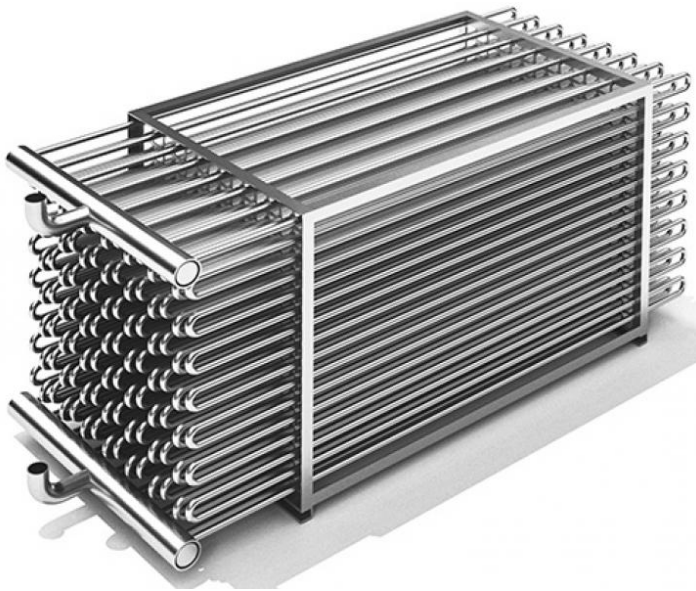


Figura 4: Evaporador de Tubo Liso

Fonte: pipeworks (2019)

2.6.2 Evaporadores de Placa

Os evaporadores de placa são de diversos tipos. Alguns são construídos de duas chapas lisas de metal, com tal revelo e soldadas juntas que permitem um trajeto para o fluxo de refrigerante entre as duas chapas. Este tipo particular de evaporador de placa é muito usado em refrigeradores de uso doméstico e frigoríficos caseiros porque ele é de fácil limpeza, de fabricação econômica, e pode ser prontamente moldado em qualquer uma das várias formas requeridas.

Os evaporadores tipo placa podem ser usados sozinhos ou em grupos. A figura 14 mostra como as placas podem ser agrupadas juntas para a montagem de teto em câmaras de retenção, instalação fechadas, frigoríficos, etc. As placas podem ser derivadas para fluxo paralelo do refrigerante. (DOSSAT, 1980, p.322).

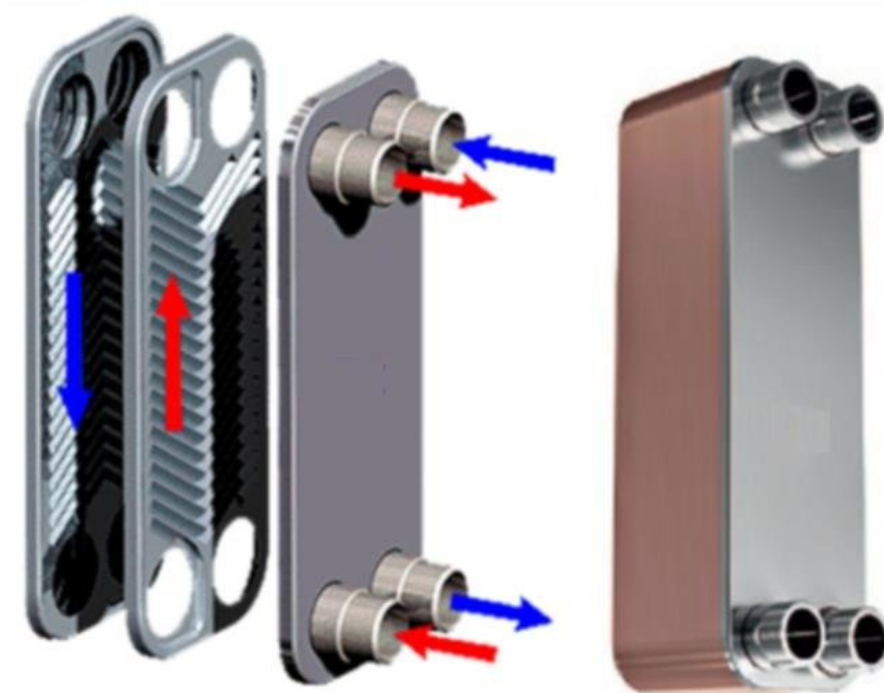


Figura 5: Evaporador de Placa

Fonte: tiendafriguscenter (2019)

2.6.3 Evaporadores de Aletas

Serpentinas com aletas são serpentinas de tubo liso as quais foram instaladas placas de metal ou aletas. As aletas, servindo como superfícies secundárias de absorção de calor, têm o efeito de aumentar a área de superfície externa do evaporador, melhorando assim sua eficiência para resfriar ar e outros gases. Com os evaporadores de tubo liso, grande parte do ar que circula ao redor da serpentina passa através dos espaços abertos entre os tubos e não entra em contato com a superfície da serpentina. Quando aletas são adicionadas a uma serpentina, elas se desenvolvem no interior de espaços abertos entre os tubos e atuam como coletores de calor. Elas removem o calor da porção de ar que ordinariamente não entraria em contato com a superfície primária e o conduzem de volta à tubulação. (...) (DOSSAT, 1980, p,327).

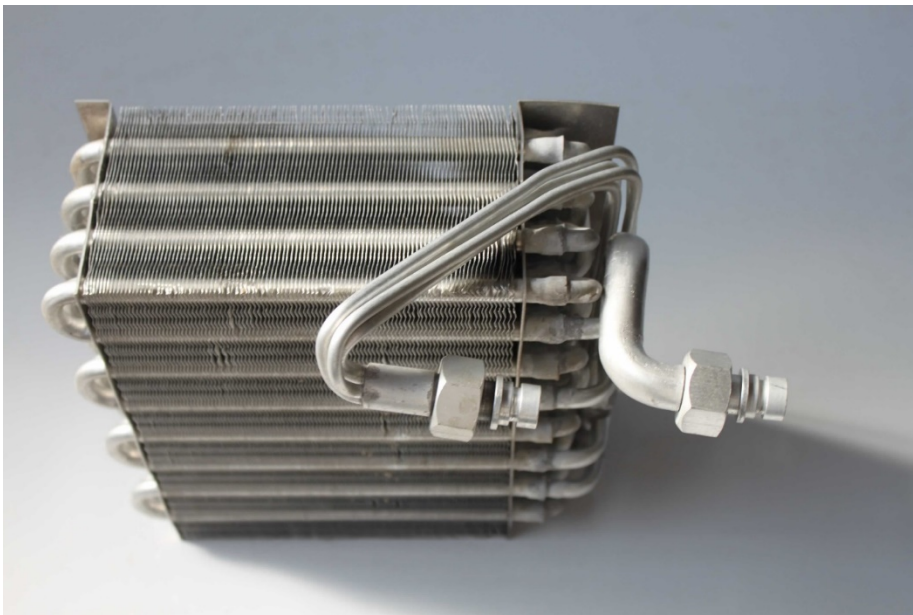


Figura 6: Evaporador Aletado

Fonte: temperfrio (2019)

2.7 CONDENSADORA

Condensadores tem o funcionamento semelhante a um evaporador, porém com o intuito de remover calor do gás superaquecido que flui em sua serpentina. O resfriamento do gás é necessário para que este assuma seu estado de líquido comprimido. Como resultado de

calor perdido para o meio de condensação, o vapor refrigerante é inicialmente resfriado ao ponto de saturação e então condensado no estado líquido. (DOSSAT, 1980, p. 451).

Uma vez que o sistema de condensação não atinge as necessidades a ele impostas, durante o percurso do fluido na tubulação, poderemos não haver a total capacidade do sistema evaporador de remover o calor do sistema interno.

O evaporador depende do sistema de condensação para receber apenas líquido comprimido. O líquido comprimido tem a capacidade de evaporar e diminuir sua temperatura.

Os condensadores podem funcionar de 2 formas, resfriados a ar ou resfriados a água.

2.7.1 Refrigerado a Ar

A circulação de ar sobre um condensador resfriado a ar pode ser ou por convecção natural ou pela ação de um ventilador ou ventoinha. Onde a circulação de ar é por convecção natural, a quantidade de ar circulado sobre o condensador é baixa e é necessária uma superfície de condensação relativamente grande. Por causa de sua capacidade limitada, os condensadores de convecção natural são usados somente em aplicações pequenas, principalmente congeladores e refrigeradores domésticos. (DOSSAT, 1980, p. 459)



Figura 7: Condensador refrigerado a ar

2.7.2 Refrigerado a Água

Segundo Dossat (1980) O funcionamento se dá pelo mesmo princípio básico utilizado no sistema refrigerado a ar, porém neste caso o meio de resfriamento do gás, é a água.

Devido a necessidade de um fluxo contínuo de água este tipo de equipamento é pouco utilizado. O alto custo da água, além do consumo energético para o bombear colaboram diretamente para o dimensionamento de sistemas resfriados a ar.

O uso deste tipo de condensador se dá em casos específicos e bem planejados com recirculação de água além de um sistema de resfriamento do mesmo para não haver o superaquecimento da água e a má eficácia do condensador.



Figura 8: Condensador refrigerado a água

Fonte: retekool (2019)

2.8 COMPRESSOR

Segundo a Elgin (Uma das componentes fundamentais do ciclo de refrigeração, o compressor exerce função de receber e comprimir o fluido refrigerante vindo da evaporadora, elevando a pressão do gás e a temperatura nesse processo. Após deixar o compressor, o gás passa novamente pelo condensador onde então será feita a troca de calor com o ambiente.



Figura 9: Compressor rotativo

Fonte: Elgin (2019)

2.8.1 Compressor Rotativo

O compressor rotativo é utilizado em sistemas do tipo Split, por ser econômico e silencioso. Sua grande eficiência em energia ocorre pelo ar que é comprimido nas espirais internas do equipamento, onde mesmo que seu funcionamento aconteça em altíssima rotação, o trabalho é realizado com “menos esforço” e conseqüentemente consumindo menos energia.

2.8.2 Compressor Inverter

O compressor utilizado no sistema VRF utiliza a tecnologia inverter, esta pode ser aplicada no compressor rotativo, controlando a velocidade de rotação, fazendo com que o mesmo trabalhe em baixa frequência, evitando assim os picos de energia mas sem perder a eficiência.

2.9 VALVULA DE EXPANSÃO

Segundo a Daikin (2019) A válvula de expansão é um dos componentes fundamentais do ciclo de refrigeração. É um dispositivo de expansão que fica entre o condensador e a entrada do evaporador, realiza 2 importantes funções.

- Reduz a temperatura e pressão do fluido refrigerante proveniente do condensador, separando, portanto, o lado de alta pressão do de baixa pressão.
- Garante que na entrada do evaporador haja somente fluido refrigerante líquido, na quantidade (vazão) e velocidade suficientes para a evaporação completa.

2.9.1 Válvula de expansão por capilares

Utilizado no sistema Split, é o sistema de expansão mais simples. Trata-se de um tubo de cobre de pequeno diâmetro e comprimento fixo.

2.9.2 Válvula de expansão eletrônica

Utilizado nos sistemas inverter e VRF, regula o fluxo de refrigerante de maneira que a capacidade do evaporador combine com a carga de resfriamento.

2.10 PSICROMETRIA

Psicrometria é o estudo das misturas de ar e vapor de água. Em um sistema o ar não é seco, mas sim uma mistura de ar e vapor de água.

Em diferentes processos a água precisa ser removida ou adicionada do ar.

Através da carta psicrométrica preparada para a pressão barométrica padrão de 101,325 KPa ou 760 mm de Hg, ao nível do mar, esta é baseada nas propriedades termodinâmicas da mistura de ar-vapor.

2.11 NORMA NBR 16401

A NBR 16401 estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projetos de ar condicionado e centrais unitárias.

Esta norma não se aplica a pequenos sistemas unitários cuja é a soma de suas capacidades unitárias é inferior a 10KW.

2.12 FLUIDO REFRIGERANTE: HFC, CFC

A 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal, setembro de 2007, mudou os prazos antes fixados para abolição dos HCFCs.

Para os países em desenvolvimento, anteriormente a alteração, o consumo poderia crescer indiscriminadamente até 2015, quando seria congelado. A eliminação só se daria em 2040, sem cronograma intermediário.

Esta alteração considerou os benefícios para a recuperação da camada de ozônio e também para a proteção do clima. HCFCs, como CFCs e HFCs, são GEE. (mma, 2019).

Os fabricantes estão continuamente desenvolvendo novos tipos de refrigerantes com o máximo possível de propriedades desejáveis. Desse desenvolvimento surgiu o R-134a.

O R-134a não é prejudicial ao meio-ambiente assim evitando a degradação da camada de ozônio. Ele é o refrigerante ideal, recomendado oficialmente como substituto do R-12.

Em ambos os sistemas comparados o fluido utilizado será o R-134a.



Figura 10: Fluido refrigerante R-134a

Fonte: refricenter (2019)

2.13 CONFORTO TÉRMICO

É uma indicação de temperaturas e umidades do ar para o projeto, com intuito que as pessoas presentes no ambiente projetado vestidas com roupas comuns se sintam confortáveis não sentindo nem calor ou frio.

2.14 TERMODINAMICA

A termodinâmica é o ramo da física que se dedica ao estudo das afinidades entre o calor e as inúmeras formas de energia. Analisando os efeitos das mudanças de temperatura, pressão, densidade, massa e volume nos sistemas a nível macroscópico.

2.15 PRIMEIRA LEI DA TERMODINAMICA

Também conhecida como “lei da conservação de energia” estabelece que, durante qualquer ciclo percorrido por um sistema, a integral cíclica do calor é competente a integral cíclica do trabalho.

2.16 CALOR

Quando dois corpos de diferentes temperaturas em contatos, o corpo mais quente reduz a sua temperatura enquanto o mais frio aumenta, havendo uma temperatura de equilíbrio térmico (lei zero). Até o início do século XIX, existia entre os cientistas o conceito de que uma substância, o “calório”, se transferia do corpo mais quente para o mais frio. Esse conceito satisfazia as experiências da época, mas não resistiu as experiências mais recentes, tornando o conceito de “energia” aceito pela ciência que está se transmite do corpo mais quente para o mais frio, por diferença de temperatura. Esta energia é aceita como “calor” e também é transmitida para as vizinhanças. Joule comprovou experimentalmente que trabalho mecânico e calor são equivalentes, como duas formas de energia, e Helmholtz generalizou que não só ambos são equivalentes, mas também todas as formas de energia são equivalentes e que nenhuma delas pode desaparecer sem que igual energia apareça sob outra forma em algum lugar.

2.17 CALOR SENSÍVEL

É a quantidade de calor que se deve acrescentar ou retirar de um ambiente devido a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, a fim de fornecer as condições de conforto desejadas. Esse calor pode ser introduzido no ambiente por condução, pelo sol diretamente, pelas pessoas, pela iluminação, pelo ar exterior, entre outros meios.

Calor sensível é o calor que se sente e pode ser medido pelo termômetro comum.

2.18 CALOR LATENTE

É a quantidade de calor que se acrescenta ou retira de um corpo, causando a sua mudança de estado, sem mudar a temperatura; é o calor absorvido que provoca a absorção da água ou outros líquidos.

O calor total é a soma do calor sensível e do calor latente.

2.19 CONSUMO DE ENERGIA

Todo aparelho que funciona com energia elétrica como chuveiro, televisores, aparelho de ar condicionado e outros, tem um consumo de energia elétrica. Segundo a ANEL (2006) Este consumo de energia elétrica destes aparelhos é obtido aplicando a equação 1:

$$k = t * p \quad (1)$$

Onde:

K = Consumo total do sistema (KW)

p = Potencia do aparelho em (KW/h)

t = Tempo de utilização do aparelho (h)

Como temos um conjunto de equipamentos elétricos formando os sistemas de ar condicionado para obter o consumo de energia em KW por hora de ambos os sistemas utilizaremos a equação 2.

$$K = n1 * p1 + n2 * p2 + p3 * p3 ... \quad (2)$$

Onde:

K = Consumo total do sistema (KW/h)

p = Consumo de cada unidade que compõem o sistema (KW/h)

n = Número de unidades de mesmo modelo.

Com o consumo horário do sistema utilizando a equação 3 onde multiplicamos o consumo horário pelo número de horas de funcionamento diário e pelos dias uteis trabalhados no mês obtém-se o consumo mensal de cada sistema.

$$K_{total} = K * h * d \quad (3)$$

Onde:

K_{total} = Consumo total de energia durante o mês (KW/mês).

h = Horas de funcionamento da agencia por dia.

d = Dias uteis do mês.

Com o consumo por mês de ambos os sistemas, podemos obter em valores a diferença de consumo através da equação 4.

$$\Delta K = K_{total\ Split} - K_{total\ VRF} \quad (4)$$

Onde:

ΔK = Variação de consumo de energia de ambos os sistemas (KW/mês)

Através da equação 5 obtemos esta diferença em porcentagem para obter uma melhor análise.

$$\frac{K_{totalSplit}}{\Delta K} = \frac{100\%}{x} \quad (5)$$

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada a análise do consumo de energia em dois possíveis sistemas de climatização para serem instalados em uma agência financeira.

Com as cargas térmicas dos ambientes atendidos já definidas e horário de funcionamento definido em 10 horas por dia, sendo que, está opera de segunda a sexta feira, foi calculado o consumo mensal em KW, a partir da soma do consumo de trabalho de cada evaporadora no sistema Split e do consumo informado pelo fabricante do sistema VRF, foi obtido o consumo em KW/h de cada sistema, ao multiplicar este consumo horário pelo número de horas de funcionamento diária e pelo número de dias úteis no mês chegamos ao consumo mensal necessário para climatizar de forma adequada todos os ambientes em cada sistema.

Posteriormente ambos foram comparados afim de identificar se tal variação de consumo é expressiva ou não para que possamos decidir qual sistema será mais vantajoso para o cliente.

3.1 ANALISE DOS SISTEMAS

3.1.1 Sistema VRF

No sistema VRF temos o consumo das unidades externas (condensadores) mais o consumo das unidades internas (evaporadores) este apenas para o acionamento do motor do ventilador do equipamento. O sistema escolhido atua em 220v/60hz. Os dados foram fornecidos pelo fabricante Hitachi, podem ser observados nas figuras 11 e 12, onde utilizamos os dados referentes ao consumo em (KW) na operação de resfriamento.

12.3.2. DADOS ELÉTRICOS DAS UNIDADES EXTERNAS

Modelos Standard e Corrosion Resistance (Heat Pump)
(220V/60Hz)

Modelo	Corrente de partida (A)	Operação Resfriamento		Operação Aquecimento		Corrente Máxima (A)	Dados Elétricos			Tensão Aplicável	
		Corrente Nominal (A)	Consumo (KW)	Corrente Nominal (A)	Consumo (KW)		Tensão (V)	Nº Fases	Freq. (Hz)	Máximo (V)	Mínimo (V)
RAS-8FSNS(R)5B	15	12,50	4,30	13,70	4,68	25,50	220	3	60	242	198
RAS-10FSNS(R)5B	15	16,60	5,70	17,30	5,93	35,00					
RAS-12FSNS(R)5B	15	19,90	6,84	22,20	7,60	39,00					
RAS-14FSNS(R)5B	15	28,10	9,63	33,40	11,46	48,00					
RAS-16FSNS(R)5B	35	29,40	10,09	35,50	12,19	54,50					
RAS-18FSNS(R)5B	35	34,70	11,89	39,90	13,68	61,50					
RAS-20FSNS(R)5B	35	44,10	15,12	46,90	16,08	72,50					
RAS-22FSNS(R)5B	35	47,80	16,40	58,60	20,10	73,50					
RAS-24FSNS(R)5B	35	55,00	18,87	58,90	20,19	87,00					
RAS-26FSNS(R)5B	30	47,40	16,27	55,60	19,06	87,00					
RAS-28FSNS(R)5B	55	48,00	16,46	61,00	20,91	93,50					
RAS-30FSNS(R)5B	55	56,50	19,38	64,00	21,96	100,50					
RAS-32FSNS(R)5B	55	62,80	21,52	71,80	24,62	109,50					
RAS-34FSNS(R)5B	75	64,10	21,98	75,40	25,86	116,00					
RAS-36FSNS(R)5B	75	69,30	23,78	79,80	27,35	123,00					
RAS-38FSNS(R)5B	55	81,60	27,98	85,10	29,20	135,00					
RAS-40FSNS(R)5B	75	83,30	28,58	97,50	33,44	135,00					
RAS-42FSNS(R)5B	75	91,20	31,26	98,70	33,84	148,50					
RAS-44FSNS(R)5B	75	93,90	32,20	120,40	41,29	147,00					

Figura 11: Dados elétricos unidades externas VRF

(Fonte: Hitachi)

12.4.2. DADOS ELÉTRICOS DAS UNIDADES INTERNAS

Modelo		Motor do Ventilador			Dados Elétricos			Tensão Aplicável	
		Corrente Nominal (A)	Consumo (KW)	Corrente de Partida	Tensão (V)	Nº Fases	Freq. (Hz)	Máximo (V)	Mínimo (V)
Tipo Parede	RPK1.0FSN3M	0,20	0,02	0,50	220	1	60	242	198
	RPK1.5FSN3M	0,40	0,05	1,00					
	RPK2.0FSN3M	0,30	0,04	0,75					
	RPK2.5FSN3M	0,50	0,07	1,25					
	RPK3.0FSN3M	0,50	0,07	1,25					
Tipo Teto Aparente	RPC4.0FSN3M	0,60	0,08	1,50	220	1	60	242	198
	RPC2.0FSN3B4	0,30	0,05	0,75					
	RPC2.5FSN3B4	0,30	0,05	0,75					
	RPC3.0FSN3B4	0,40	0,06	1,00					
	RPC4.0FSN3B4	0,60	0,10	1,50					
Tipo Cassete 1 Via	RPC5.0FSN3B4	0,90	0,16	2,25	220	1	60	242	198
	RPC6.0FSN3B4	1,00	0,19	2,50					
	RCS1.0FSN	0,16	0,03	0,40					
	RCS1.5FSN	0,26	0,05	0,65					
	RCS2.0FSN	0,37	0,07	0,93					
Tipo Cassete 2 Vias	RCS2.5FSN	0,42	0,08	1,05	220	1	60	242	198
	RCS3.0FSN	0,48	0,09	1,20					
	RCD1.0FSN3	0,15	0,03	0,38					
	RCD1.5FSN3	0,25	0,05	0,63					
	RCD2.0FSN3	0,30	0,06	0,75					
	RCD2.5FSN3	0,38	0,07	0,95					
	RCD3.0FSN3	0,50	0,09	1,25					
Tipo Cassete 4 Vias Jr	RCD4.0FSN3	0,57	0,11	1,43	220	1	60	242	198
	RCD5.0FSN3	0,71	0,13	1,78					
	RCD6.0FSN3	0,79	0,15	1,98					
	RCIM1.0FSN4	0,32	0,06	0,80	220	1	60	242	198
Tipo Cassete 4 Vias	RCIM1.5FSN4	0,37	0,07	0,93					
	RCIM2.0FSN4	0,53	0,10	1,33					
	RCIM2.5FSN4	0,58	0,11	1,45					
	RCI1.0FSN3B4	0,20	0,03	0,50	220	1	60	242	198
	RCI1.5FSN3B4	0,30	0,05	0,75					
	RCI2.0FSN3B4	0,40	0,07	1,00					
	RCI2.5FSN3B4	0,80	0,12	2,00					
	RCI3.0FSN3B4	0,80	0,12	2,00					
	RCI4.0FSN3B4	1,00	0,15	2,50					
	RCI5.0FSN3B4	1,10	0,17	2,75					
Tipo Teto Embutido (Baixa Pressão Estática)	RPI1.0FSN3B2	0,40	0,10	1,60	220	1	60	242	198
	RPI1.5FSN3B2	0,40	0,10	1,60					
	RPI2.0FSN3B2	0,90	0,19	3,60					
	RPI2.5FSN3B2	0,90	0,19	3,60					
	RPI3.0FSN3B2	1,00	0,20	4,00					
	RPI4.0FSN3B2	1,30	0,27	5,20					
	RPI5.0FSN3B2	1,70	0,35	6,80					
Tipo Teto Embutido (Alta Pressão Estática)	RPI6.0FSN3B2	1,70	0,35	6,80	220	1	60	242	198
	RPI1.0FSNP3B2	0,40	0,10	1,60					
	RPI1.5FSNP3B2	0,40	0,10	1,60					
	RPI2.0FSNP3B2	0,90	0,19	3,60					
	RPI2.5FSNP3B2	0,90	0,19	3,60					
	RPI3.0FSNP3B2	1,00	0,20	4,00					
	RPI4.0FSNP3B2	1,30	0,27	5,20					
	RPI5.0FSNP3B2	1,70	0,35	6,80					
	RPI6.0FSNP3B2	1,70	0,35	6,80					
	RPI8.0FSN3B3	3,50	0,70	14,00					
Tipo Teto Embutido (100% Ar Externo)	RPI10.0FSN3B3	4,00	0,78	16,00	220	1	60		
	RPI5.0FSN3B2A	1,70	0,35	6,80					
	RPI8.0FSN3B2A	3,50	0,70	14,00					
	RPI10.0FSN3B2A	4,00	0,78	16,00					

Figura 12: Dados elétricos unidades internas VRF

(Fonte: Hitachi)

Através do projeto fornecido visto nas figuras 13, 14 e 15, foi possível identificar os equipamentos necessários para a devida climatização do ambiente.

08	07	Unidade evaporadora VRF tipo Hi Wall, capac. de refrigeração 4KW, aquecimento 4,8kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RPK-1,5FSN3M, marca Hitachi.
07	01	Unidade evaporadora VRF tipo Hi Wall, capac. de refrigeração 5,6KW, aquecimento 6,3kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RPK-2,0FSN3M, marca Hitachi.
06	02	Unidade evaporadora VRF tipo Piso Teto Aparente, capac. de refrigeração 5,6KW, aquecimento 6,3kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RPC-2,0FSN3B4, marca Hitachi.
05	02	Unidade evaporadora VRF tipo Hi Wall, capac. de refrigeração 7,1KW, aquecimento 8,5kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RPK-2,5FSN3M, marca Hitachi.
04	03	Unidade evaporadora VRF tipo Cassete 4 vias, capac. de refrigeração 7,1KW, aquecimento 8,1kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RCI-2,5FSN3B4, marca Hitachi.
03	12	Unidade evaporadora VRF tipo Cassete 4 vias, capac. de refrigeração 11,2KW, aquecimento 13kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RCI-4,0FSN3B4, marca Hitachi.
02	03	Unidade evaporadora VRF tipo Cassete 4 vias, capac. de refrigeração 14KW, aquecimento 16kw, controle remoto sem fio, gás R-410a, modelo RCI-5,0FSN3B4, marca Hitachi.
01	03	Unidade condensadora VRF linha Set Free Σ (SIGMA), capacidade de refrigeração 67,0KW, aquecimento 77,5KW, gás R-410, modelo RAS-24FSNS5B, marca Hitachi.
COD.	QUANT.	DESCRIÇÃO DO ITEM

Figura 13: Legenda Projeto VRF

(Fonte: Projeto fornecido)

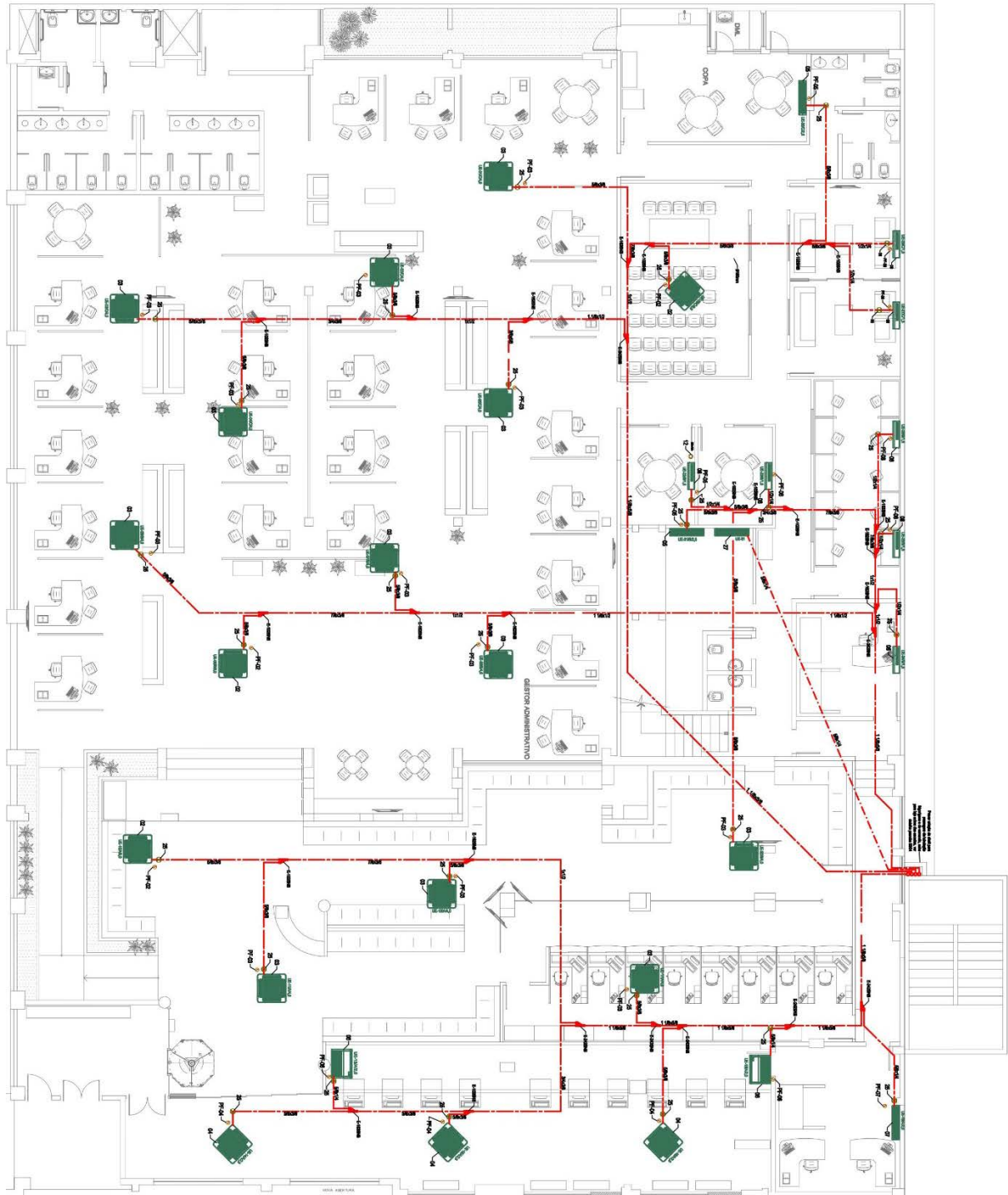


Figura 14: Planta sistema VRF

(Fonte: Projeto fornecido)

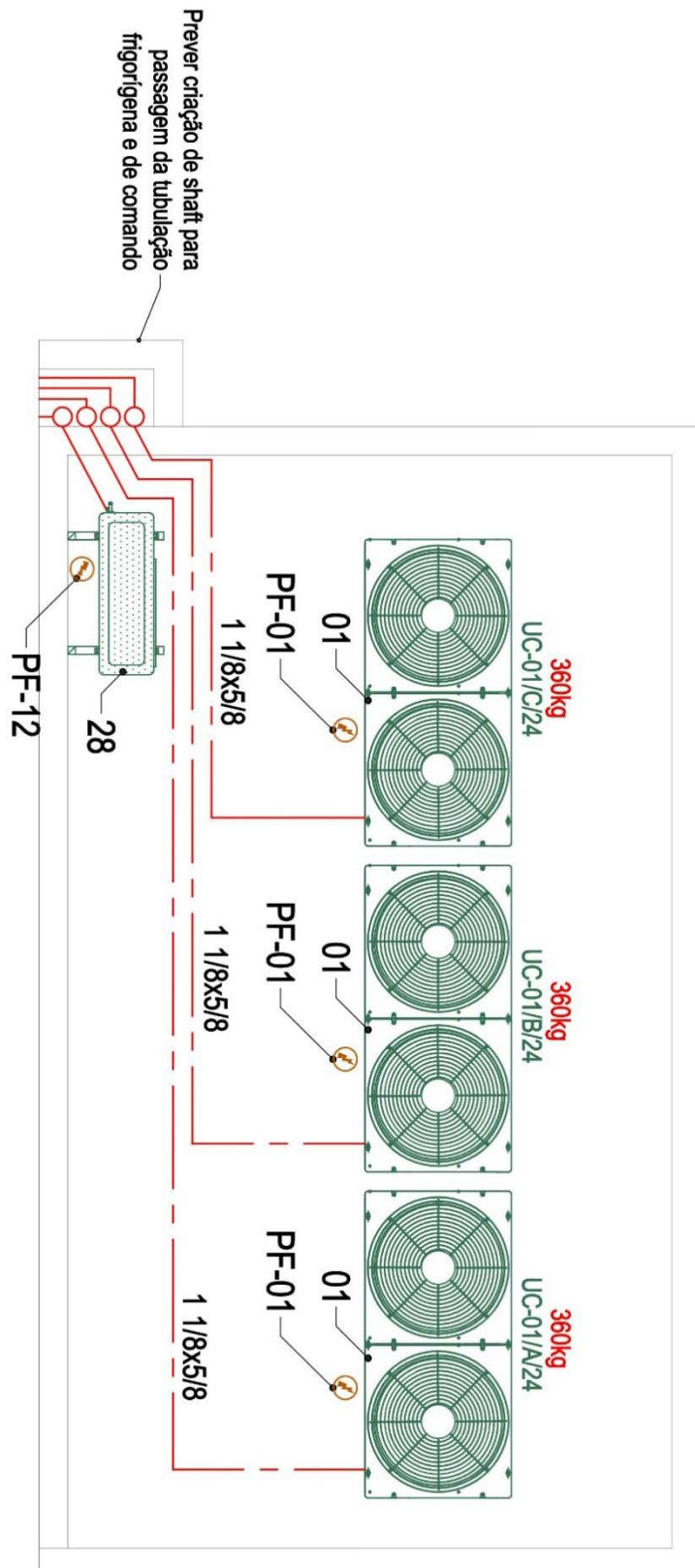


Figura 15: Planta Lage Técnica sistema VRF

(Fonte: Projeto fornecido)

Através destes foi identificado que o sistema é composto por 3 condensadoras de 24HP, 3 evaporadoras do tipo cassete de 5HP, 12 evaporadoras do tipo cassete de 4HP, 3 evaporadoras do tipo cassete de 2,5HP, 2 evaporadoras do tipo piso teto de 2HP, 2 evaporadoras do tipo hi-wall de 2,5HP, 1 evaporadoras do tipo hi-wall de 2HP e 7 evaporadoras do tipo hi-wall de 1,5HP. Utilizamos a equação 2 onde a quantidade de unidades de cada modelo foi multiplicada pelo seu respectivo consumo de energia (informado nas figuras 11 e 12) para obter o consumo em KW por hora.

$$K = n1 * p1 + n2 * p2 + p3 * p3 ... \quad (2)$$

Onde:

K = Consumo total do sistema (KW/h)

p = Consumo de cada unidade que compõem o sistema (KW/h)

n = Número de unidades de mesmo modelo.

$$K = 3 * 18,87 + 3 * 0,17 + 12 * 0,15 + 3 * 0,12 + 2 * 0,05 + \\ 2 * 0,07 + 1 * 0,04 + 7 * 0,05$$

$K = 59,91KW/h$

Com o consumo horário da agencia, utilizando a equação 3 onde foi multiplicado o consumo horário pelo número de horas de funcionamento diário e pelos dias uteis trabalhados no mês obtivemos o consumo mensal do sistema VRF.

$$Ktotal = K * h * d \quad (3)$$

Onde:

$Ktotal$ = Consumo total de energia durante o mês (KW/mês).

h = Horas de funcionamento da agencia por dia.

d = Dias uteis do mês.

$$Ktotal = 59,91 * 10 \frac{horas}{dia} * 21 dias \acute{u}teis$$

$Ktotal = 12581,1 KW/mês$

3.1.2 Sistema Split

No sistema Split não temos a necessidade de um ponto de força exclusivo para a evaporadora pois está estará sendo alimentada juntamente com a condensadora. Este sistema também opera em 220v/60hz, foi utilizando como base o projeto do sistema VRF, foi feito o mesmo calculo porem as unidas evaporadoras serão do tipo Split, para mantermos ambos os sistemas com a mesma capacidade, como o fabricante do sistema VRF não fornece unidades do tipo Hi-Wall no sistema Split utilizamos os dados fornecidos pelo fabricante Elgin. Estes dados são observados nas figuras 16, 17 e 18.

TABELA INFORMATIVA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CASSETTE 360° ECO

Características Técnicas	Unidade Interna	KEFI18B2NC	KEQI18B2NC	KEFI24B2NC	KEQI24B2NC	KEFI36B2NC	KEQI36B2NC	KEFI48B2NC	KEQI48B2NC	KEFI48B2NC
	Unidade Universal	OUFE18B2CA	OUQE18B2CA	UOFE24B2CA	UOQE24B2CA	OUFE36B2NA	OUQE36B2NA	OUFE48B3NA	OUQE48B3NA	OUFE48B4NA
	Unidade Universal (Coore)	-	-	-	-	OUFE36B2CA	OUQE36B2CA	OUFE48B3CA	OUQE48B3CA	OUFE48B4CA
	Painel	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA	45KE7P00B2DA
Capacidade	Refrigeração/Aquecimento (Btu/h)	18.000	18.000	24000	24000	36000	36000	48000	48000	48000
	Refrigeração/Aquecimento (W)	5275	5275	7033	7033	10550	10550	14067	14067	14067
Versão	-	-	-	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio
Alimentação elétrica (V - fases - Hz)	-	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 3 - 60	220 - 3 - 60	380 - 3 - 60
Corrente Máxima (A)	-	9,9	9,7	14,2	13,4	18,90	18,5	14,90	14,60	8,20
Disjuntor (A)	-	13	13	20	20	25	25	20	20	13
Consumo (W/h)	-	1739	1665	2480	2305	3380	3365	4550	4550	4537
Classificação do INMETRO	-	C	C	C	B	B	B	B	B	B
Compressor	Tipo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo
Remoção de umidade	l/h	1,52	1,57	2,61	2,52	4,20	4,17	6,20	6,22	6,21
Controle remoto sem fio	-	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Velocidade de ventilação	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vazão de ar (m ³ /h)	Alta	1314,5	1303,3	1265	1266	2671	2334	2322	2326	2367
Nível de ruído (dBa)	Unidade interna - Alta	54	54	54	54	56	56	56	56	56
Tipo de refrigerante*	-	1075	1140	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A**	R-410A**	R-410A**
Dispositivo de expansão	Tipo	Capilar	Capilar	Capilar	Capilar	Piston	Piston	Piston	Piston	Piston
Auto restart	-	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Diâmetro dos tubos	Linha de líquido	1/4"	1/4"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	Linha de sucção	1/2" até 15m 5/8" até 20m	1/2" até 15m 5/8" até 20m	5/8" até 15m 3/4" até 30m	5/8" até 15m 3/4" até 30m	3/4" até 20m 7/8" até 30m	3/4" até 20m 7/8" até 30m	3/4" até 10m 7/8" até 30m	3/4" até 10m 7/8" até 30m	3/4" até 10m 7/8" até 30m
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comprimento dos tubos	Padrão (m)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Mínimo (m)	-	-	2	2	2	2	2	2	2
	Máximo (m)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Desnível entre as unidades (m)	-	10	10	10	10	15	15	15	15	15
Dimensão dos produtos sem a válvula - AxLxP	Unidade Interna (mm)	230x835x835	230x835x835	230x835x835	230x835x835	290x835x835	290x835x835	290x835x835	290x835x835	290x835x835
	Painel (mm)	45x 950x950	45x 950x950	45x950x950	45x950x950	45x950x950	45x950x950	45x950x950	45x950x950	45x950x950
	Unidade Externa (mm)	518x805x285	570x802x300	605x850x295	605x850x295	754x869x325	754x869x325	1162x869x325	1162x869x325	1162x869x325
	Unidade Interna (kg)	23	23	24	24	24	24	24	24	24
Peso Líquido	Painel (kg)	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89
	Unidade Externa (kg)	36	38	45	45	68,5	69,5	95,7	96,7	95,7

Figura 16: Dados elétricos unidades Split Cassete 360° ECO

(Fonte: Elgin)

TABELA INFORMATIVA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PISO TETO ECO

Características Técnicas	Unidade Interna	PEF24B2NC	PEQ24B2NC	PEFI30B2NC	PEQI30B2NC	PEFI36B2NC	PEQI36B2NC	PEFI48B2NC	PEQI48B2NC	PEQI48B2NC
	Unidade Universal	OUFE24B2CA	OUQE24B2CA	OUFE30B2CA	OUQE30B2CA	OUFE36B2NA	OUQE36B2NA	OUFE48B3NA	OUQE48B4NA	OUQE48B3NA
	Unidade Universal (cobre)	-	-	-	-	OUFE36B2CA	OUQE36B2CA	OUFE48B3CA	OUFE48B4CA	OUQE48B3CA
Capacidade	Refrigeração/Aquecimento (Btu/h)	24000	24000	30000	30000	36000	36000	48000	48000	48000
	Refrigeração/Aquecimento (W)	7033	7033	8790	8790	10548	10548	14064	14064	14064
Versão	-	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio	Frio	Quente e Frio
Alimentação elétrica (V - fases - Hz)	-	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 3 - 60	380 - 3 - 60	220 - 3 - 60
Corrente Máxima (A)	-	14,0	13,7	15,7	15,7	18,3	18,3	16,4	9,4	16,0
Disjuntor (A)	-	20	20	20	20	25	25	20	13	20
Consumo (W/h)	-	2320	2315	2715	2717	3255	3225	4805	4495	4550
Classificação do INMETRO	-	B	B	A	A	A	A	B	B	B
Compressor	Tipo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo
Remoção de umidade	l/h	3,16	3,01	4,3	4,01	4,18	4,15	6,21	6,2	6,19
Controle remoto sem fio	-	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Velocidade de ventilação	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vazão de ar (m3/h)	Alta	1067	1070	1051	1088	2238	2170	2195	2149	2044
Nível de ruído (dBa)	Unidade interna - Alta	45	45	45	45	45	45	52	52	52
Tipo de refrigerante*	-	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A**	R-410A**	R-410A**
Dispositivo de expansão	Tipo	Capilar	Capilar	Capilar	Capilar	Piston	Piston	Piston	Piston	Piston
Auto restart	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Diâmetro dos tubos	Linha de líquido	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
	5/8" até 15m	5/8" até 15m	5/8" até 15m	5/8" até 10m	5/8" até 10m	3/4" até 20m	3/4" até 20m	3/4" até 10m	3/4" até 10m	3/4" até 10m
	3/4" até 30m	3/4" até 30m	3/4" até 30m	3/4" até 20m	3/4" até 20m	7/8" até 30m	7/8" até 30m	7/8" até 30m	7/8" até 30m	7/8" até 30m
	Linha de sucção	-	-	7/8" até 30m	7/8" até 30m	-	-	-	-	-
Comprimento dos tubos	Padrão (m)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Mínimo (m)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Máximo (m)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Desnível entre as unidades (m)	-	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Dimensão dos produtos sem a valvula - AxLxP	Unidade Interna (mm)	675x1055x235	675x1055x235	675x1055x235	675x1055x235	675x1275x235	675x1275x235	675x1275x235	675x1275x235	675x1275x235
	Unidade Externa (mm)	690x802x300	690x802x300	835x900x330	835x900x330	754x869x325	754x869x325	1162x869x325	1162x869x325	1162x869x325
Peso Líquido/Bruto	Unidade Interna (kg)	24,0/30,0	24,0/30,0	24,0/30,0	24,0/30,0	29,0/35,0	29/35	38/46	38/46	38/46
	Unidade Externa (kg)	47,0/54,0	47,0/54,0	65,0/71,0	66,0/73,0	66,0/73,0	73,3/75,3	95,7/98,7	95,7/98,7	98/101

Figura 17: Dados elétricos unidades Split Piso Teto ECO

(Fonte: Elgin)

TABELA INFORMATIVA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ECO POWER

Características Técnicas	Unidade Interna	HWFI09B2IA	HWQI09B2IA	HWFI12B2IA	HWQI12B2IA	HWFI18B2IA	HWQI18B2IA	HWFI24B2IA	HWQI24B2IA
	Unidade Externa	HWFE09B2NA	HWQE09B2NA	HWFE12B2NA	HWQE12B2NA	HWFE18B2NA	HWQE18B2NA	HWFE24B2NA	HWQE24B2NA
Capacidade	Refrigeração/Aquecimento (Btu/h)	9000	9000	12000	12000	18000	18000	24000	24000
	Refrigeração/Aquecimento (W)	2637	2637	3516	3516	5274	5274	7032	7032
Versão	-	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio	Frio	Quente e Frio
Alimentação elétrica (V - fases - Hz)	-	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60	220 - 1 - 60
Corrente (A)	-	3,90	3,90	5,40	5,30	8,00	8,00	10,90	10,00
Disjuntor (A)	-	10,00	10,00	10,00	10,00	13,00	13,00	16,00	16,00
Consumo (W/h)	Refrigeração/Aquecimento	777	782	1067	1058	1630	1630	2111	2033
Classificação do INMETRO	-	A	A	A	A	A	A	A	A
Compressor	tipo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo	Rotativo
Controle remoto sem fio	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de ventilação	-	3	3	3	3	3	3	3	3
Vazão de ar (m³/h)	-	442	430	540	540	895	895	1096	1096
Auto restart	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nível de ruído	Interna	41	41	42	43	45	46	51	50
	Externa	51	51	49	50	56	56	60	60
Diâmetro dos tubos	Linha de líquido	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"
	Linha de sucção	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	5/8"	5/8"
Comprimento dos tubos	Padrão (m)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Máximo (m)	15	15	15	15	20	20	20	20
Desnível entre as unidades (m)	-	7	7	7	7	8	8	10	10
Dimensão dos produtos - AxLxP	Unidade Interna (mm)	285x700x195	285x700x195	285x755x195	285x755x195	310x905x225	310x905x225	330x1085x230	330x1085x230
	Unidade Externa (mm)	500x660x255	500x660x255	540x775x280	540x775x280	545x830x310	545x830x310	655x840x325	655x840x325
Peso Líquido	Unidade Interna (Kg)	7,7	7,7	8,3	8,3	12,3	12,3	14,6	14,6
	Unidade Externa (Kg)	20,8	22,6	26,2	27,2	34,6	35	45,9	48
Código EAN	Interna	789.70135.6939-5	789.70135.6943-2	789.70135.6941-8	789.70135.6945-6	789.70135.7187-9	789.70135.7185-5	789.70135.7191-6	789.70135.7189-3
	Externa	789.70135.6940-1	789.70135.6944-9	789.70135.6942-5	789.70135.6946-3	789.70135.7188-6	789.70135.7186-2	789.70135.7192-3	789.70135.7190-9

Figura 18: Dados elétricos unidades Split Hi-Wall ECO POWER

(Fonte: Elgin)

No sistema Split cada unidade interna tem sua respectiva unidade externa, o sistema contará com, 3 unidades do tipo Cassete de 48000Btu/h, 12 unidades do tipo Cassete de 36000Btu/h, 3 unidades do tipo Cassete de 24000Btu/h, 2 unidades do tipo Hi-Wall de 24000Btu/h, 3 unidades do tipo Hi-Wall de 18000Btu/h e 7 evaporadoras do tipo Hi-Wall de 12000Btu/h. Unidades do tipo Piso Teto de 18000Btu/h não são oferecidas no sistema Split e foram substituídas por unidades equivalentes do tipo Hi-Wall. Utilizamos novamente a equação 2 onde a quantidade de unidades de cada modelo foi multiplicada pelo seu respectivo consumo

de energia (informado nas tabelas 16, 17 e 18), para obter o consumo de energia em KW por hora.

$$K = n1 * p1 + n2 * p2 + p3 * p3 ... \quad (2)$$

Onde:

K = Consumo total do sistema (KW/h)

p = Consumo de cada unidade que compõem o sistema (KW/h)

n = Número de unidades de mesmo modelo.

$$K = 3 * 4,55 + 12 * 3,38 + 3 * 2,48 + 2 * 2,11 + 3 * 1,63 + 7 * 1,07$$

$$K = 78,25 \text{ KW/dia}$$

Com o consumo horário da agencia utilizando novamente a equação 3 onde foi multiplicado o consumo horário pelo número de horas de funcionamento diário e pelos dias uteis trabalhados no mês obtivemos o consumo mensal do sistema Split.

$$K_{total} = Q * h * d \quad (3)$$

Onde:

K_{total} = Consumo total de energia durante o mês (KW/mês)

h = Horas de funcionamento da agencia por dia.

d = Dias uteis do mês.

$$K_{total} = 78,25 * 10 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 21 \text{ dias úteis}$$

$$K_{total} = 16432,5 \text{ KW/mês}$$

3 RESULTADOS

4.1 DIFERENÇA DE CONSUMO

Com o consumo por mês de ambos os sistemas, foi possível obter em valores a diferença de consumo através da equação 4

$$\Delta K = K_{total\ Split} - K_{total\ VRF} \quad (4)$$

Onde:

ΔK = Variação de consumo de energia de ambos os sistemas (KW/mês)

$$\Delta K = 16432,5 - 12581,1$$

$\Delta K = 3851,4 \text{ KW/mês}$

Através da equação 5 obtivemos esta diferença em porcentagem para obter uma melhor análise.

$$\frac{K_{totalSplit}}{\Delta K} = \frac{100\%}{x} \quad (5)$$

$$\frac{16432,5}{3851,4} = \frac{100\%}{x}$$

$x = 23,4376\%$

4.2 CONCLUSÃO

Diante das condições mundial de economia de energia e meios renováveis é de suma importância equipamentos mais eficientes. Através dos resultados obtidos com este trabalho é nítida a maior eficiência do sistema VRF, está maior eficiência no consumo de energia se dá pelo tipo de funcionamento de seu compressor e sua válvula de expansão, enquanto no sistema Split a válvula de expansão é por capilares e o compressor atua em plena carga e ao atingir a temperatura desejada ao ambiente, ele se desliga e quando houver uma alteração da temperatura almejada ele é acionado novamente, para que este saia da inercia e atinja seu funcionamento novamente em plena carga, demanda de um elevado consumo de energia, já no sistema VRF a válvula de expansão é eletrônica e o compressor aumenta gradualmente sua potência de acordo com a necessidade do sistema ao variar a carga do mesmo para que possa manter a demanda de fluido refrigerante do sistema, assim o sistema além de não operar o tempo todo em plena carga não necessita dar novas partidas no compressor durante seu funcionamento, o que gera uma redução expressiva no consumo de energia elétrica.

Através destes cálculos concluímos que o consumo de energia de um sistema VRF pode ser de aproximadamente 23,5% menor que um sistema comum do tipo Split, se mostrando uma economia considerável para o sistema de climatização.

5 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o presente trabalho, podemos observar que o sistema de climatização do tipo VRF possui um consumo de energia consideravelmente menor, o que tem grande influência nos gastos com energia elétrica tanto para agencias financeiras quanto para grandes escritórios, laboratórios entre outros empreendimentos.

Assim podemos deixar ideias para trabalhos futuros como:

- Estudo comparativo em relação a outros sistemas existentes no mercado.
- Aplicação pratica de ambos os sistemas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADIAS AR CONDICIONADO. **Duvidas de ar condicionado:** Disponível em: <<https://www.adias.com.br/duvidas-de-ar-condicionado>>. Acessado em 08/10/2019

(ANEL) AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA, - **Atlas da energia elétrica do brasil:** São Paulo:-ANEL, 2002.-1-p.

(ANEL) AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA / PROCEL EDUCAÇÃO. – **Conservação de energia:** Itajubá: -fupai, 2006.-15-p.

DOSSAT, -Roy-j.- **Manual de refrigeração:** São Paulo:-Hermus, 1980.-884-p.
2014.-586-p

ELETROLUX. **Ar condicionado inverter:** Disponível em: <<https://loja.electrolux.com.br/ar-condicionado-inverter-qi-qe12f--1200-btus--frio/p>>. Acessado em 10/10/2019

ELGIN. **Compressor rotativo:** Disponível em: <<https://www.elgin.com.br/institucional/produto.php?prod=NDMz&sessao=refri>>. Acessado em 22/05/2020

ELGIN. **Cassete 360 ECO:** Disponível em: <<https://www.elgin.com.br/institucional/produto.php?ln=MQ==&l=MQ==&cat=MjI=&titulo=U3BsaXQgQ2Fzc2V0ZQ==&prod=ODAx&filtro=&t=&u=>>>. Acessado em 28/02/2020

ELGIN. **Piso Teto ECO:** Disponível em: <<https://www.elgin.com.br/institucional/produto.php?ln=MQ==&l=MQ==&cat=MTg=&titulo=UGlzbYBUZXRV&prod=ODAw&filtro=&t=&u=>>>. Acessado em 28/02/2020

ELGIN. **Hi-Wall ECO POWER:** Disponível em: <<https://www.elgin.com.br/institucional/produto.php?ln=MQ==&l=MQ==&cat=OQ==&titulo=U3BsaXQgSGkgV2FsbA==&prod=ODc5&filtro=&t=&u=>>>. Acessado em 28/02/2020

HFM INDUSTRY. **Evaporador de placa:** Disponível em: <<https://es.hfm-phe.com/product/plate-evaporator.html>>. Acessado em 22/09/2019

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Difusão do Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado:** Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_arquivos/roberto_peixoto_130.pdf>. Acessado em 30/09/2019

TEMPERFRIO. **Evaporador aletado:** Disponível em: <<https://www.temperfrio.com.br/pecas/produto.php?produto=3071-evaporador-fiat-palio-98-r134a-a-a-tubo-aletas-154x203x90mm>>. Acessado em 23/09/2019

NEI. **Condensador refrigerado a água:** Disponível em: <<https://www.nei.com.br/produto/2014-08-condensador-resfriado-a-agua-apema-equip-inds-ltda?id=82bfc15-6e64-11e4-9fa8-0e94104de12e>>. Acessado em 25/09/2019

RETEKOOL. **Condensador refrigerado a ar:** Disponível em:
<<https://pt.retekool.com/Condensador-refrigerado-a-ar-%28condensador-de-cobre%29-pd6673996.html>>. Acessado em 25/09/2019

REFRICENTER. **Fluidos Refrigerantes:** Disponível em:
<<https://www.refricenter.com.br/linha-da-gases/fluido-refrigerante-ou-gas-refrigerant-r134a-cilindro-13-62-kg>>. Acessado em 10/10/2019

REX MILLER. MARCK R. MILLER, - **Refrigeração e ar condicionado:** São Paulo:- LTC,

TIENDAFRIGUCENTER. **Evaporador de tubo liso:** Disponível em:
<https://www.tiendafriguscenter.com/detalles_Intercambiadores-de-Calor>. Acessado em 23/09/2019

WILBERT F. STOECKER, JEROLD W. JONES, - **Refrigeração e ar condicionado:** São Paulo:- MC Gran Hill, 1985.-490-p

HELIO CREDER, - **Princípios de refrigeração:** São Paulo: - Hermus, 2007.-336-p