

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
CÉSAR AUGUSTO PIRES BONIFÁCIO

**ANÁLISE DE DOIS CONTROLADORES DE UM CONDICIONAMENTO DE AR,
VISANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Varginha
2019

CÉSAR AUGUSTO PIRES BONIFÁCIO

**ANÁLISE DE DOIS CONTROLADORES DE UM CONDICIONAMENTO DE AR,
VISANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, sob orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2019**

CÉSAR AUGUSTO PIRES BONIFÁCIO

**ANÁLISE DE DOIS CONTROLADORES DE UM CONDICIONAMENTO DE AR,
VISANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

—

Professor (a)

—

Professor (a)

—

Professor (a)

OBS.:

Dedico este trabalho a minha noiva
Nayara, meu irmão Guilherme, e a todos os
demais que contribuíram para sua
realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar sabedoria e foco nesse meu objetivo. Agradeço a minha família, por acreditar no meu potencial e sempre me ajudar nas horas que mais precisei. Agradeço aos meus professores pelo conhecimento passado, especialmente a professora Luciene, pela ajuda na construção deste trabalho. Agradeço ao meu orientador Luiz Carlos Vieira Guedes. Por fim, a todos que contribuíram para o desenvolvimento dessa etapa.

“Não confunda jamais conhecimento com sabedoria. Um o ajuda a ganhar a vida, o outro a construir uma vida.”

Sandra Carey

RESUMO

O referente estudo discorre sobre o crescimento energético, e aumento de vida útil de equipamentos de refrigeração, através da substituição de comandos do manual para o automático. A análise foi feita em um cinema da cidade de Varginha/MG, onde se encontram salas de filmes com espaços confinados, e com fluxos frequentes de pessoas; na atual instalação, seus aparelhos de climatização são VRF (Fluxo de Refrigerante Variável), controlados manualmente, sendo ligados no início do funcionamento e desligados ao final, consequentemente apresentando uma eficiência energética baixa, e possibilitando desgastes maiores no funcionamento da mesma. O objetivo do trabalho que se segue é avaliar a eficiência da reestruturação do monitoramento da climatização com a instalação um Controlador Programável Lógico (CLP), interligado ao sistema de vendas de ingressos, com o intuito de estar sendo ativado durante as sessões e se desligando nos períodos de ausência de pessoas, e com proporções exatas em relação a quantidades de clientes com o número de equipamentos ligados, sem diminuir seu conforto térmico, e possibilitando uma porcentagem significativa na sua eficiência energética. Conclui-se que com o monitoramento automático, iminente com o sistema VRF, apresenta resultado relevantes ao consumo energético e sua eficiência, devido ao aparelho de climatização se adequar de acordo com os horários das sessões, devido ao sistema ser inverter.

Palavras-chave: Climatização. Consumo energético. Automação. Fluxo de refrigerante variável.

ABSTRACT

This study discusses the energy growth, and increase the life of refrigeration equipment, by replacing commands from manual to automatic. The analysis was made in a cinema in the city of Varginha / MG, where movie rooms with confined spaces are found, and with frequent flows of people; In the current installation its climate controlled appliances are VRF (Variable Refrigerant Flow), manually controlled, being turned on at the beginning of operation and turned off at the end, consequently have a low energy efficiency, and alelo greater wear on its operation. The objective of the following work is to evaluate the efficiency of the restructuring of climate monitoring with the installation of a Programmable Logic Controller (PLC), connected to the ticket sales system, in order to be activated during the sessions and turning off in periods of absence of people, and with exact proportions in relation to the number of customers with the number of equipment connected, without decreasing their thermal comfort, and allowing a significant percentage in their energy efficiency. It is concluded that with the automatic monitoring, imminent with the VRF system, it presents results relevant to energy consumption and its efficiency, due to the HVAC, is appropriate according to the session times, due to the system being inverted.

Keywords: Climatization. Energy efficiency. Automation. Variable refrigerant flow

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Gráfico em porcentagem do consumo elétrico por setores.....	15
Figura 2:Circuito frigorígeno VRV – MIDEA.....	18
Figura 3:Gráfico comparativo entre compressores convencionais e sistema Inverter com SOFT START e atingimento do set point de temperatura.....	18
Figura 4:Sistema de controle com múltiplas válvulas solenoide.....	19
Figura 5: Diagrama de um bloco de um PLC.....	21
Figura 6: Hall Cinemark Varginha- MG.....	24
Figura 7: Condesadoras TVR11 (TRANE).....	25
Figura 8: Evaporadoras (TRANE).....	26
Figura 9: : Controlador lógico Programável (TRANE).....	27

,

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	14
2.1 Matriz energética brasileira.....	14
2.2 Benefícios da eficiência energética.....	15
3 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO VRF.....	16
3.1 Tecnologia do VRF.....	17
4 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	20
4.1 Vantagens da automação de climatização.....	20
4.2 Controladores lógicos programáveis.....	20
4.2.1 Desenvolvimento de um CLP.....	21
5 METODOLOGIA.....	23
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
6.1 Proposta de melhoria.....	24
6.1.1 Equipamentos de climatização.....	25
6.1.2 Controlador lógico programável.....	27
6.2 Cálculos no atual funcionamento.....	27
6.3 Cálculos com sistema em automação.....	29
7 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIA.....	33

1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo da energia gerada é uma realidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, tornando-se uma importante questão a ser enfrentada pela economia destes países. O Brasil se inclui neste grupo, embora o consumo de energia em seu território não seja tão elevado como o consumo de energia em países de área territorial equivalente, por exemplo, os Estados Unidos (EUA) e a Austrália (LAMBERTS e CARLO, 2004).

Levine et al (1998), apontam que esforços contínuos de pesquisa e desenvolvimento em tecnologias e práticas para aumento da eficiência energética são essenciais para garantir um futuro energeticamente eficiente, além da implementação de políticas efetivas de energia eficiente e demais programas para a transferência de conhecimento, de tecnologia e instrumentos para a transformação de mercados para os países em desenvolvimento.

No atual cenário, a eficiência energética, apresenta um grande potencial a ser explorado em todos os campos, principalmente em consequência da intensificação de fatores ambientais e econômicos, bem como ao avanço tecnológico. Nesse sentido, empresas apresentam uma importante área de atuação devido à grande participação que exercem no consumo total de energia, correspondendo ao sistema de climatização significativa parcela desse consumo.

No Brasil, analisando que há uma crescente preocupação ambiental e econômica, as formas de medidas para desacelerar o crescimento do consumo de energia ainda é implementada de forma lenta. O fornecimento de energia elétrica é proveniente de hidroeletricidade, considerada uma fonte extensa e barata. Entretanto, as investidas no setor elétrico não acompanharam o grande crescimento verificado no país nos últimos anos.

Com grandes cifras de custo em relação a energia elétrica junto a setores competitivo, obrigam aos empresários em articular ações internas de combate ao desperdício e uso racional da energia elétrica.

O consumo de energia de um sistema de condicionamento de ar é função do desempenho térmico da empresa e da eficiência do sistema de condicionamento de ar nas suas diversas condições de operação. O desempenho térmico de um projeto está relacionado à carga térmica da empresa e suas variações ao longo do dia e do ano. Por sua vez, essas variações estão relacionadas com a forma de ocupação dos ambientes e com as variações climáticas. Já a eficiência de um sistema de climatização é função da forma como ele responde às variações de carga térmica ao longo do ano. Em outras palavras, ela é determinada pelo consumo de energia de cada componente do sistema e a capacidade de geração do frio ou calor nas diversas formas de operação durante todo ano. Portanto, o desempenho do sistema é influenciado

principalmente pela eficiência dos equipamentos, configuração do sistema e estratégias de operação, (POZZA,2011).

Na busca pelo aumento da eficiência energética, o mercado de sistemas de climatização com tecnologia vazão de refrigerante variável VRF, apresenta-se em expansão. Considerado um sistema central eficiente, compacto e de fácil operação, a tecnologia VRF tem sido frequentemente adotada em edificações comerciais no Brasil. Com forte apelo comercial focando as temáticas sustentabilidade e economia de energia, os principais fabricantes mundiais investem no desenvolvimento de tecnologia e no lançamento de produtos, fomentando a competição nesse segmento,(FRANCHI, 2008).

Na utilização da tecnologia a favor da economia, existem maneiras eficazes e novos recursos, muitos deles já são realidades no Brasil. A palavra automação alguns anos atrás era inacessível para pequenas e médias empresas, controladores lógicos programáveis PLC, é uma maneira de produções e eficiências de alto níveis, consegue proporcionar vantagens e praticidades no sistema de climatização

Mediante aos fatos, o objetivo geral trata se de uma reestruturação no monitoramento de climatização cujo seu sistema é VRF da CINEMARK Varginha, visando a eficiência energética, instalando um sistema de controle automatizado com interligação do sistema de venda de ingressos, proporcionando um ajuste no funcionamento das evaporadoras para que possa refrigerar com equilíbrio térmico, em decorrência da instalação que é por controle manual e alto consumo de energia, por estar ligado por período integral.

Outros objetivos nesse trabalho são levantar dados nominais dos equipamentos de climatização, pesquisar sobre o sistema instalado VRF e sobre automação, dando ênfase no controlador lógico programável, e relacionar a eficiência energética do controle manual com o automático, através de horas consumida dos aparelhos.

O interesse por esse tema, veio pelo desperdício de energia elétrica visto no cinema, aonde seu sistema de refrigeração nas salas de filmes fica em funcionamento em período integral das sessões, tendo em vista que há períodos sem pessoas no local.

A seguir, será apresentada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, definindo a eficiência energética, como o sistema de climatização proporciona uma redução significativa no consumo de energia, e fator automação proporciona índices maiores para a eficiência.

As análises para desenvolver esses fatores de redução vem através de cálculos do consumo energético, relacionando seu tempo de funcionamento com a potência dos aparelhos, conseguindo estabelecer assim, um comparativo do controle manual com o controle

automático, podendo reduzir em desgastes de peças dos maquinários, e diminuindo em manutenções corretivas.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de iluminação, aquecimento, transporte e outros serviços baseados na energia (US National Policy Development Group, 2001).

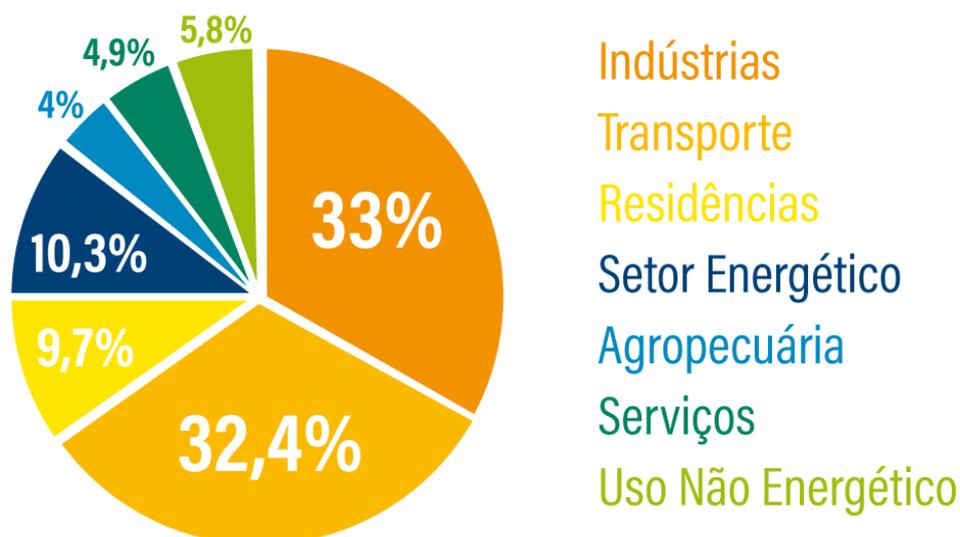
2.1 Matriz energética brasileira

A matriz energética de um país corresponde ao inventário de energia gerada por meio de todas as fontes energéticas existentes, transformada para uso e colocada à disposição para consumo de uma sociedade, (OLIVETI e SILVA, 2016).

No Brasil, a empresa de pesquisa energética (EPE), instituição pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), tem por objetivo pesquisar e estudar dados e indicadores para subsidiar o planejamento do setor energético. Entre os setores analisados, estão petróleo e gás natural, carvão mineral, energia elétrica, fontes renováveis e eficiência energética, (OLIVETI e SILVA, 2016).

Com base em estudos setoriais, o grande consumidor de energia elétrica é o setor industrial, com 33,0% do consumo total de energia elétrica do país, seguido pelo setor residencial com 32,4%, (OLIVETI, 2016).

Figura 1- Gráfico em porcentagem do consumo elétrico por setores



Fonte: balanço Energético Nacional- EPE (2016)

No Brasil, a regulação e a fiscalização dos serviços de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são realizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Por meio da Resolução Normativa n.414, de 9 de setembro de 2010, a Aneel estabelece direitos e deveres para os consumidores e distribuidores de energia elétrica, (OLIVETTI e SILVA, 2016).

2.2 Benefícios da eficiência energética

Mills e Rosenfeld (1998) apontam sete categorias, abaixo relacionadas, de benefícios indiretos da não energia, por meios de introdução de tecnologias de eficiência energética. Estes benefícios não são facilmente quantificáveis, sendo melhor utilizados como incentivo aos consumidores a adotarem tecnologias energeticamente eficientes, na medida em que podem agregar valor quantitativo aos benefícios já conhecidos. Esse conceito assume papel importante para alguns segmentos não tão sensíveis aos argumentos econômicos:

1. Melhoria do ambiente interno: conforto térmico, qualidade do ar, saúde e segurança, entre outras;
2. Redução dos níveis de ruídos (ex. Janelas eficientes);
3. Economia de trabalho e de tempo (ex. Microondas eficiente);
4. Melhoria do controle do processo produtivo (ex. Motores com variação de velocidade);
5. Aumento do bem-estar (ex. Reatores eletrônicos eliminam cintilação e ruídos dos sistemas de iluminação);
6. Economia de água e redução do desperdício (eixos horizontais para lavadoras);
7. Benefícios diretos e indiretos da diminuição do tamanho do equipamento.

Com a tendência de reduzir no máximo o consumo de energia, projetos são criados com o intuito de explorar sistemas viáveis para essa redução, com altos desperdícios em climatização, equipamentos avançados foram criados para obter melhorias que atendam e deem uma solução. Sistemas VRF, com funcionamentos de inversores de frequência, veio para suprir essa defasagem.

3 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO VRF

O termo genérico VRF, é utilizado pelos fabricantes de sistemas HVAC, para designar uma máquina de ar condicionado com fluxo de refrigerante variável. O VRF é também conhecido pelo nome da marca registrada VRV (volume de refrigerante variável) e como multi-split VRF/VRV (AYNUR,2008).

A tecnologia VRF foi introduzida no mercado há mais de 25 anos pelos países Asiáticos, a partir da concepção de compressores com motor de velocidade de rotação variável (VSD) (AYNUR et al., 2009).

Pozza (2011), afirma que os equipamentos VRF atendem às necessidades de uma instalação com diversas unidades internas para apenas uma única unidade externa obtendo-se um menor custo de instalação além de necessitar um espaço físico menor para a instalação da unidade externa. O equipamento VRF, basicamente, é um sistema que modula a vazão de refrigerante através de um compressor com velocidade de rotação variável e pela válvula de expansão eletrônica (EEV) localizada em cada unidade interna. Os dois equipamentos juntos operam de forma a acompanhar a evolução da carga térmica de refrigeração ou aquecimento de cada zona climatizada, a fim de manter a temperatura do ar o mais próximo possível da temperatura desejada (set-point).

O compressor com inversor de frequência tem uma ampla capacidade de modulação com alta eficiência em cargas parciais (GOETZLER, 2007).

A frequência do inversor varia geralmente de 20-30 Hz até 105-120 Hz. Através do inversor de frequência, a unidade externa modula a sua capacidade pela variação da vazão mássica de refrigerante na descarga do compressor, com a finalidade de igualar a capacidade com a carga térmica de refrigeração ou aquecimento total das zonas climatizadas. (AYNUR, 2008).

Park et al, (2001), estudaram a performance do sistema VRF com duas unidades internas quanto a frequência do compressor, carga térmica total e operação em cargas parciais de refrigeração. O estudo mostrou que a potência elétrica do compressor aumenta com a frequência na segunda ordem e conseqüentemente reduz o COP. A principal observação realizada mostra que com a variação entre 50 e 100% da fração da carga térmica, faz com que a frequência do compressor oscile apenas 30%, porém a variação da abertura da EEV oscila em torno de 92%. Conclui-se que o principal parâmetro de controle em um sistema VRF é a abertura da EEV, maior que a variação da frequência do compressor quando estiver em carga parcial.

3.1 tecnologias do VRF

Os sistemas VRF incorporam uma série de tecnologias eficientes, incluindo compressores com rotação variável e ventiladores, bombas de calor trocando calor do ar exterior para os espaços condicionados, trocadores de calor entre as correntes de refrigerantes frias e quentes, porém com algumas características singulares que podem resultar em um consumo adicional de energia, (LIU E HONG, 2010, P.584-585):

- Primeiro, na mesma forma que outras bombas de calor que utilizam como fonte de calor o ar, o trocador de calor da unidade externa do sistema VRF necessita operar em degelo quando está no modo de aquecimento, em função do gelo formado através da umidade que condensa sobre a serpentina;
- Segundo, as linhas de refrigerante geralmente atendem grandes distâncias entre a unidade externa e as internas que resulta em uma perda significativa de calor/frio e de pressão (perdas de carga na tubulação) aumentando a potência consumida pelo compressor;
- Terceiro, alguns sistemas VRF requerem um dispositivo especial para a operação de lubrificação do compressor, que consome potência extra.

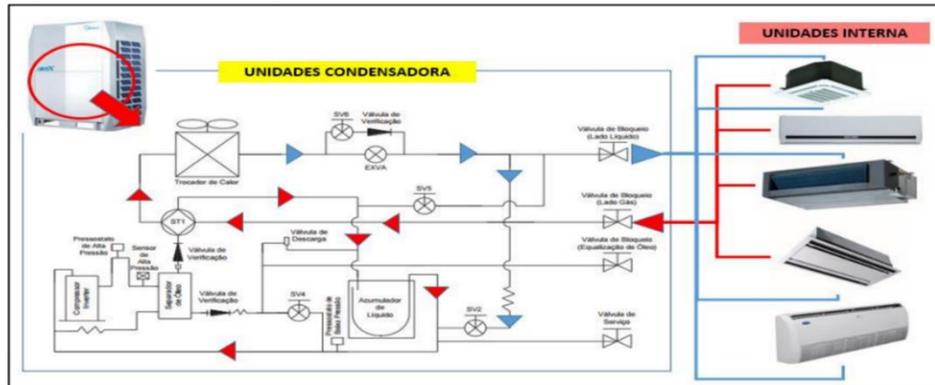
Algumas características do sistema VRF ajudam na melhoria da eficiência energética:

Segundo Santos (2017, P.17), adentrando no circuito frigorígeno do sistema VRV na figura 2, temos uma tecnologia diferenciada, múltiplas unidades internas compartilhando a mesma linha frigorígena tanto de sucção com expansão, no fluxo interno destacamos:

- Separador de óleo que tem como função reter o óleo para que ele volte rápido ao compressor;
- Acumulador de líquido tem como função reter o refrigerante líquido afim de que entre somente o refrigerante em forma de gás evitando assim um golpe de líquido e perda de rendimento do sistema;
- Válvula de quatro vias (ST1), fecha no modo refrigeração e abre no modo aquecimento;
- Compressor inverter, protegido com manta de proteção acústica reduzindo o ruído de funcionamento. O compressor inverter será detalhado no próximo tópico;
- Válvula de expansão eletromagnética EXV, comandada via placa eletrônica através de leitura das unidades internas, possui sistema de precisão de pulsos para liberação do fluxo de refrigerante variável com maior eficiência e eficácia e estabilidade;
- Válvula SV2, utilizada para pulverizar uma pequena quantidade de refrigerante líquido para refrigerar o compressor, abre quando a temperatura de descarga estiver acima de 100°C;

- Válvula SV5, usada no modo desgelos, corta o ciclo do refrigerante de modo que o processo de degelo demore menos tempo;
- Válvula SV6, para derivação, abre quando a pressão de descarga está muito alta e fecha quando a unidade está em stand by ou em modo aquecimento;
- Sensor de alta pressão, monitora a pressão de descarga do compressor para controlar a velocidade da ventilação forçada de condensação.

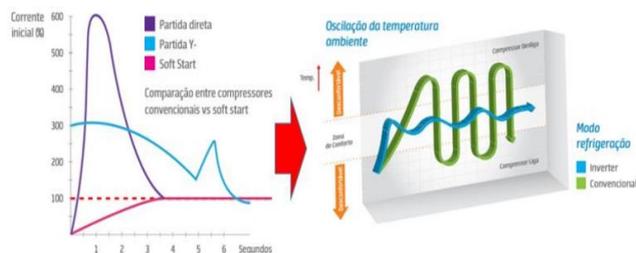
Figura 2: Circuito frigorígeno VRV – MIDEA.



Fonte: Adaptado de VRF MIDEA (2016).

Santos (2017), Compressor DC (Direct Current), em português corrente contínua, possui alta eficiência energética em refrigeração e aquecimento, os compressores possuem a tecnologia soft start, garantindo uma partida suave, reduzindo picos de energia na corrente elétrica e atingi rapidamente a frequência de trabalho reduzindo o tempo de carga e contribuindo que o set point seja rapidamente atingido. Conforme apresentada na Figura 3;

Figura 3: Gráfico comparativo entre compressores convencionais e sistema Inverter com SOFT START e atingimento do set point de temperatura.

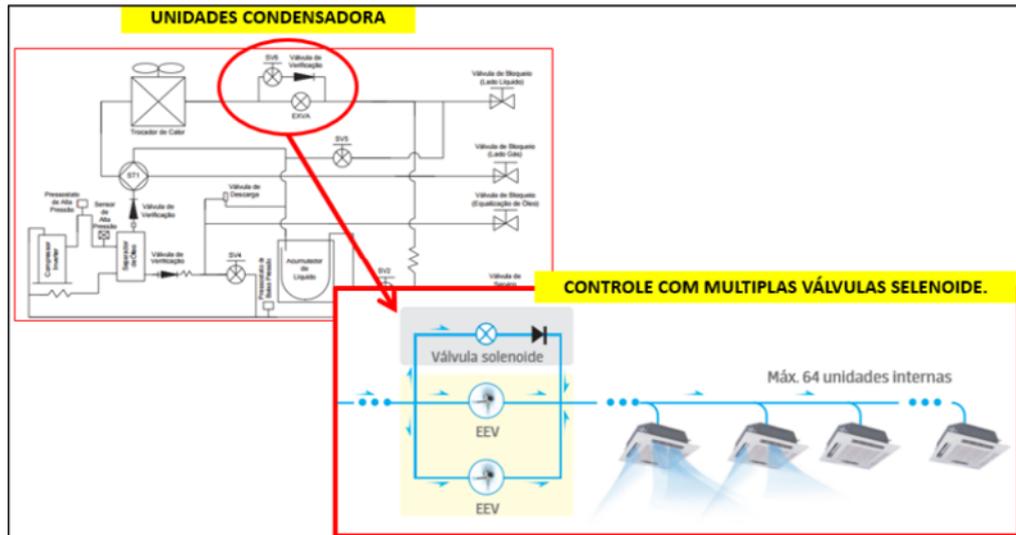


Fonte: Adaptado de CARRIER (2016).

Motor ventilado DC (Direct Current), corrente contínua, um dos diferenciais em relação aos sistemas convencionais é que o sistema de ventilação atua de acordo com a carga operacional e pressão do sistema, a placa principal controla a velocidade para corresponder ao rendimento do compressor (SILVA, 2004);

Tecnologia de controle com múltiplas válvulas solenoides. Os sistemas possuem duplas válvulas de expansão EXV, com capacidade de 480 pulsos cada para ajustar o fluxo de refrigerante com precisão a um total de 960 pulsos de controle, as válvulas solenoides garantem o controle da temperatura e operação mais precisa do sistema e garante maior economia de energia e maior conforto ao ambiente, conforme demonstramos na Figura 4, (SILVA, 2004);

Figura 4: Sistema de controle com múltiplas válvulas solenoides.



Fonte: Adaptado de CARRIER (2016).

Visto que o sistema VRF, é uma solução de eficiência energética, por ser tecnologia inverter, e adaptação térmica contínua, e não terem picos de voltagem, controladores lógicos programáveis, tem fundamentos importantes para dar continuidade nessa eficiência, através de monitoramento automático, proporcionando uma redução de tempo e desgastes com funcionamento em períodos integral dos aparelhos.

4 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Oliveti e Silva (2016) definem automação como o uso de ferramentas e sistemas para controlar automaticamente um processo ou uma máquina, diminuindo ou excluindo a intervenção humana.

A palavra automação nos remete à ideia de algo moderno, por causa do grande desenvolvimento de produtos e avanços tecnológicos nessa área do conhecimento. É possível observar que a comunicação de dados em aplicações industriais tem se expandido de maneira considerável nos últimos anos, (OLIVETI E SILVA, 2016)

4.1 Vantagens da automação de climatização

Segundo Torreira (2003, p.23), algumas vantagens de automação na climatização, são;

Segurança: se, porventura, houver caso de incêndio, imediatamente os dispositivos de controle de ar-condicionado são desligados, de maneira que não haverá fumaça se espalhando pela casa.

Temperatura: você pode controlar a temperatura do ambiente e proporcionar um clima ideal, como também economizar energia resfriando apenas ambientes que estão sendo usados.

Ventilação: a *Master Sound* garante um perfeito sistema de ventilação para você ter um clima super saudável nos ambientes da sua casa, porque esse sistema vai permitir o controle de um excelente fluxo de ar dentro de casa. É ou não é sensacional!

Ajuste: O controle do ar condicionado pode ser ajustado da maneira que for mais conveniente a você. Basta configurar o sistema que haverá redução automática de temperatura. (TORREIRA, 2003)

4.2 Controladores lógicos programáveis

O controlador lógico programável (CLP), foi idealizado nos estados unidos da américa ao final da década de 1960, pela indústria automobilística, que na época tinha a necessidade de criar um elemento de controle versátil e ao mesmo tempo, com uma rápida modificação de sua programação, (SOUSA, 2004).

Segundo Oliveti e Silva (2016), o CLP é um tipo de controlador universal, que pode ser utilizado em diversas aplicações, e permite ao usuário, além do programa armazenado na memória, de alterar, ampliar e otimizar os processos de comando.

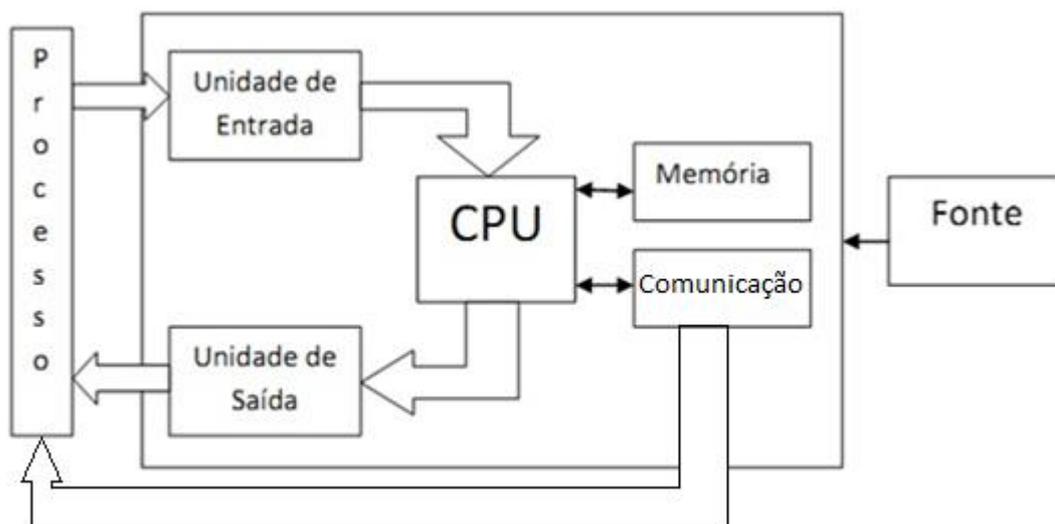
De acordo com Silveira (1998) é por meio das diferentes linguagens de programação que o programador transmite à unidade de processamento central, transmite os comandos que devem ser seguidos, podendo ser através de controle por relés, parâmetros idiomáticos e blocos funcionais.

Além das funções de controle de máquinas os CLPs podem fornecer serviços secundários, como enviar e receber informações sobre manutenção e produção. É muito normal, nos dias de hoje, conectar cada máquina a uma rede local LAN (do inglês, local área network; em português, rede de área local) com um terminal localizado na gerência de manutenção e outro na gerência de produção, (SOUSA,2004).

4.2.1 Desenvolvimento de um CLP

A estrutura de um CLP pode ser dividida em três partes: entradas, processamento e saídas.

Figura 5: Diagrama de um bloco de um \PLC



Fonte:Franchi,2008.

Com base em Scherer; Sousa; Iashimoto (2002, p.17-22), as etapas de programação, se resume:

- CPU (Unidade Central de Processamento): é o elemento responsável pela execução do programa lido nas memórias;
- Memória de sistema: Como a CPU, é um elemento híbrido. Por exemplo, o mesmo componente pode ser encontrado dentro de uma calculadora ou de um vídeo cassete.

Portanto, o que faz a CPU agir como um CLP é o programa encontrado na memória de sistema;

- Memória de usuário: é a memória que armazena o programa de usuário, ou seja, o programa que irá controlar o processo;

- Entradas e saídas: são os meios de ligação física entre o CLP e o processo, onde:
Entradas: O CLP recebe todos os sinais provenientes de botões, sensores, chaves, entre outros, para conhecimento do estado do processo. Saídas: Conectam-se todos os elementos passivos do processo, como por exemplo: Motores, lâmpadas, eletroválvulas, sirenes, entre outros.

5 METODOLOGIA

No referencial teórico foi utilizada a pesquisa bibliográfica, contida em materiais já elaborados por outros autores sobre o assunto, como por exemplo, teses de doutorado, livros científicos, dissertações de mestrado, artigos científicos dentre outros.

No decorrer do trabalho foram apresentados, um breve histórico da importância da eficiência energética na indústria, analisando a matriz energética no Brasil, análise de sistema de climatização VRF, e o entendimento sobre automação industrial, com detalhamento de controlador lógico programável. A análise que será apresentada no decorrer deste trabalho foi possível somente com a ajuda de professores com um grau de conhecimento sobre o tema abordado.

O objetivo principal desse estudo, é apresentar uma diminuição significativa, de energia elétrica, reestruturando o modo de funcionamento de condicionadores de ar instalados nas salas de filmes do CINEMARK BRASIL, em Varginha MG, substituindo o controle que no atual presente é feito manual, por controle automatizado

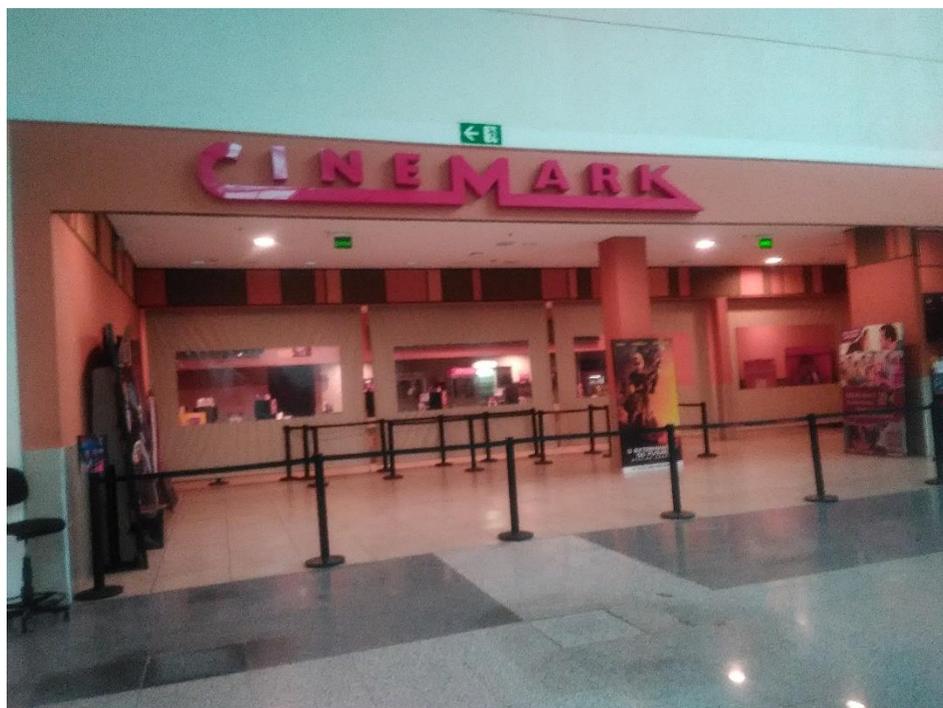
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado o comparativo dos controladores de condicionamento de ar, analisado no CINEMARK BRASIL, em Varginha MG. Através de cálculos de potência dos equipamentos com seu tempo de uso.

6.1 Proposta de melhoria

A análise foi feita no cinema de Varginha MG, cujo seu nome Cinemark Brasil, com mais de 80 cinemas pelo país, na cidade de Varginha, sua instalação fica no shopping da cidade, seu quadro de funcionários contém 21 colaboradores, com a lotação máxima de 798 pessoas distribuídas em 4 salas, seu objetivo é de sempre inovar, com a alta resolução nos filmes e proporcionando conforto para seus clientes.

Figura 6: Hall Cinemark Varginha- MG



Fonte: O autor (2019)

6.1.1 Equipamentos de climatização

A gestão da energia passa de maneira contínua por um processo de avaliação de sua matriz energética com estratégias definidas de curto, médio, longo prazo. Dessa maneira, é necessário conhecer, por meio de um diagnóstico, a situação de consumo de energia de determinado local para depois implantar as ações necessárias para a redução de perdas de energia. (OLIVETI E SILVA, 2016).

No projeto de climatização, o Cinemark investiu em sistema VRF, visto na referência bibliográfica, fatores que demonstram que aparelhos com inversores de frequência, são mais vantajosos ao mencionar eficiência e baixo consumo de energia elétrica.

No seu projeto atual foram constatados por salas os seguintes aparelhos:

Sala 1: 4 evaporadoras (instalados dentro da sala)

2 condensadoras (instalados na área externa da sala)

Sala 2: 4 evaporadoras (instalados dentro da sala)

2 condensadoras (instalados na área externa da sala)

Sala 3: 4 evaporadoras (instalados dentro da sala)

2 condensadoras (instalados na área externa da sala)

Sala 4: 4 evaporadoras (instalados dentro da sala)

2 condensadoras (instalados na área externa da sala)

Na figura 7 e 8, mostra os maquinários de climatização da CINEMARK.

Figura 7: Condesadoras TVR11 (TRANE)



Fonte: O autor (2019)

Figura 8: Evaporadora Piso-teto



Fonte: O autor (2019)

Na tabela 1 e 2, mostra seus respectivos valores nominais, que ajudaram para os cálculos do consumo de energia elétrica.

Tabela 01 - Valores nominais da evaporadora.

VALORES NOMINAIS DA EVAPORADORA – 4TVX0038C1000AA				
CAPACIDADE (Btu/h)	POTÊNCIA (W)	CORRENTE (A)	FONTE DE ENERGIA (V)	REFRIGERANTE
38000	265	1,15	208/230	R 410A

Fonte: O autor (2019).

Tabela 02 - Valores nominais da evaporadora.

VALORES NOMINAIS DA CONDENSADORA – 4TVH0086BE000BA				
CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO (kW)	CAPACIDADE DE AQUECIMENTO (kW)	FONTE DE ENERGIA (V)	CORRENTE NOMINAL (A)	POTÊNCIA (W)
25,2	27	380/415	20,8/25	5874

Fonte: O autor (2019).

6.1.2 Controlador lógico programável

Será instalado um PLC da trane UC400, pelas pesquisas, é o mais viável para melhorar a programação e funcionamento do cinema.

Figura 9: Controlador lógico Programável (TRANE)



Fonte: O autor (2019)

6.2 Cálculos no atual funcionamento

Na atual funcionalidade a empresa é aberta todos os dias do ano, sem horários fixos, é conforme programação diárias, sendo assim, os aparelhos de ar condicionados são ligados e controlados manualmente nas 4 salas, dentre a abertura do cinema para os clientes e a última sessão do dia, ficando então ligado 100% dos equipamentos nesse período, controlando apenas sua temperatura a pedido dos clientes. O gasto dessa demanda de energia elétrica para a climatização nas salas com controle manual é feito através de cálculos;

A fórmula mais viável para essa análise em relação a um período de uso é de consumo elétrico, aonde multiplica-se a potência dos aparelhos com as horas de funcionamento e as quantidades de dias no mês, dividindo por mil, encontrando-se esses valores em KWh.

$$\text{Consumo} = \frac{(W) \times (h) \times (\text{dias})}{1000} \quad (01)$$

Dados: W= Potência dos aparelhos de refrigeração

H= Horas de funcionamento dos aparelhos

A programação de filmes do cinema não é fixa, ela é alterada semanal, com isso foi analisado nas datas do dia 10/10/2019 a 16/10/19, constatamos os seguintes horários:

Quadro 01 - Horários das sessões de filmes.

SALAS	ENTRADA	SAÍDA
Sala 01	13h30min	15h42min
	16h10min	18h55min
	18h50min	21h32min
	21h45min	23h57min
Sala 02	12h50min	15h06min
	15h30min	17h46min
	18h15min	20h31min
	21h00min	23h46min
Sala 03	13h50min	15h23min
	16h00min	18h16min
	19h00min	21h16min
	22h00min	00h16min
Sala 04	14h50min	16h22min
	16h50min	18h42min
	19h15min	21h07min
	21h30min	24h56 min

Fonte: O autor.

Visto os dados mencionados, seu consumo de energia elétrica no seu atual funcionamento por sala, usando sua máxima potência que seus dados nominais específico foram:

Sala 1:

$$\text{Consumo} = \frac{4 \times (265) + 2 \times (5874) \times 10,27 \times 7}{1000}$$

O consumo da sala 1, durante a semana foi de 920,767 KW]

Sala 2:

$$\text{Consumo} = \frac{4 \times (265) + 2 \times (5874) \times 10,56 \times 7}{1000}$$

O consumo da sala 2, durante a semana foi de 946,767 KW

Sala 3:

$$\text{Consumo} = \frac{4 \times (265) + 2 \times (5874) \times 10,26 \times 7}{1000}$$

O consumo da sala 3, durante a semana foi de 919,870 KW

Sala 4:

$$\text{Consumo} = \frac{4x(265) + 2x(5874) \times 8,56 \times 7}{1000}$$

O consumo da sala 4 durante a semana foi de 767,45 KW

6.3 Cálculos com sistema em automação

Toda decisão de investimento em projetos de eficiência energética deve ser pautada por meio de uma análise de viabilidade econômica. Um estudo econômico de viabilidade pode servir tanto para decisão de escolha de determinado sistema por outro como pela viabilidade de investimento na busca da eficiência energética. O estudo de viabilidade econômica deve, ao final, apresentar o retorno financeiro do objeto em estudo, buscando para isso o levantamento de indicadores para sustentar o estudo, (OLIVETI E SILVA, 2016).

Visto esses valores com o consumo de energia na refrigeração, através do controle manual, uma maneira para a economia e eficiência energética, vem de uma evolução que vai ganhando espaço no dia a dia de empresas, a automação, possibilitando controles precisos e esporádicos, ligando o funcionamento da climatização em um aparelho programável para determinadas funções.

Com o objetivo de diminuir o desperdício de energia elétrica, e aumentando sua eficiência, o controlador lógico programável, irá auxiliar nesse monitoramento, sendo alimentado com as programações dos filmes, e seus respectivos tempos de duração, interligados com a quantidade de pessoas para cada sessão, possibilitando também seu conforto térmico.

Com base nos estudos bibliográficos e com análises de capacidade térmica dos aparelhos VRF, a instalação atual com 4 evaporadas nas salas, possibilita programar a quantidade de aparelhos em funcionamento com a quantidade de ingressos vendidos, possibilitando uma diminuição ainda maior no consumo de energia elétrica.

Através do controle automático, o conforto térmico poderá ficar mais preciso, com as proporções exatas de equipamentos ligados com a quantidade de pessoas que irão ocupar as salas confinadas de filmes.

Quadro 02: Relação de pessoas por sessão.

Salas	Entrada	Saída	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
01	13h30min	15h42min	2	5	13	12	7	20	23
	16h10min	18h22min	15	10	10	5	6	18	27
	18h50min	21h32min	8	4	16	42	18	12	45
	21h45min	23h57min	2	12	12	24	11	40	18
02	12h50min	15h06min	0	3	10	8	0	14	17
	15h30min	17h46min	6	4	27	5	13	52	34
	18h15min	20h31min	14	6	5	9	14	28	31
	21h00min	23h46min	4	20	20	14	21	10	17
03	13h50min	15h23min	0	0	120	20	4	17	16
	16h00min	18h16min	0	0	18	27	0	23	18
	19h00min	21h16min	0	18	8	31	10	23	33
	10	10	10	10	10	10	10	10	10
04	14h50min	16h22min	10	8	0	3	9	29	19
	16h50min	18h42min	7	13	8	13	22	31	16
	19h15min	21h07min	5	9	22	9	3	19	25
	21h30min	23h46min	12	6	5	17	34	35	20

Fonte: O autor (2019).

Seguindo o mesmo método de cálculos agora para o controle automático, com seus respectivos horários de sessões, e com o sistema parcialmente ligado com base na quantidade de pessoas nas salas, o resultado foi o seguinte:

Sala 1:

$$\text{Consumo} = \frac{2 \times (265) + (5874) \times 8,48 \times 7}{1000}$$

Com a redução de tempo, quantidades de máquinas em funcionamento, o consumo de energia da sala 1, foi de 380,14 KW

Sala 2:

$$\text{Consumo} = \frac{2 \times (265) + (5874) \times 8,64 \times 7}{1000}$$

Com a redução de tempo, quantidades de máquinas em funcionamento, o consumo de energia da sala 2, foi de 387,31 KW

Sala 3:

$$\text{Consumo} = \frac{2 \times (265) + (5874) \times 9,32 \times 7}{1000}$$

Com a redução de tempo, quantidades de máquinas em funcionamento, o consumo de energia da sala 3, foi de 417,79 KW

Sala 4:

$$\text{Consumo} = \frac{2 \times (265) + (5874) \times 5,28 \times 7}{1000}$$

Com a redução de tempo, quantidades de máquinas em funcionamento, o consumo de energia da sala 4, foi de 236,69 KW.

Com o número de clientes por sessões, foram usados 2 evaporadoras e uma condensadora por sala.

Com esses dados de consumo de energia elétrica, através do controle automático, obtive um porcentual de aproximadamente de 60% de diminuição em relação ao controle manual, dentre as vantagens podemos citar, aumento na vida útil das peças dos equipamentos e diminuição em manutenção.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou através de pesquisas bibliográficas, entendimento sobre eficiência energética, com a distribuição de seus principais setores de consumo, com essa análise, foi determinado maneiras para diminuir esse consumo energético, mediante a um estudo de caso, obtivemos sucesso por substituição de controle manual pelo automático de condicionamento de ar.

Pelas pesquisas teóricas, o sistema de climatização VRF (fluxo de refrigerante variável), que foi instalado no CINEMARK BRASIL, empresa ao qual foi feito o estudo, tem grande importância no fator eficiência, por ter seu funcionamento com inversores de frequência, conseguindo adequar seu ciclo constantemente, sem picos de tensão, com isso seu consumo é reduzido.

Em seu estudo de caso, foi constatado desperdício de energia elétrica em relação a climatização, apesar de suas vantagens na eficiência energética, a possibilidade para reduzir cada vez mais se tornou viável.

Com pensamentos tecnológicos, a maneira foi automatizar seu sistema, controladores lógicos programáveis, foi a melhor opção, devido a sua estrutura, a programação do cinema ficou mais organizado, e seu consumo reduziu consideravelmente, ficando como sugestão para uma nova pesquisa a verificação de outras técnicas.

REFERÊNCIA

AYNUR, T. N. **Evaluation of a Multi-split Type Air Conditioning System Under Steady-State and Transient Conditions**, Tese de Ph.D. Departamento de Engenharia Mecânica, Technical University, 2008.

AYNUR, T. N.; Hwang, Y.; Radermacher, R. **Simulation Comparison of VAV and VRF Air Conditioning Systems in an Existing Building for the Cooling Season**, Energy and Buildings, 2009.

CARLO, J ; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético Nacional de Edificações**. In: ARQUIVOS Climáticos. Florianópolis: UFSC/labEEEE. 2005. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>> . Acesso em: 26.Jun. 2019.

CARRIER. Willis. Biografia – **Marcos Históricos**. Disponível em <<http://www.carrierdobrasil.com.br/willis-carrier>>. Acessado em: 14. Set.2019.

FRANCHI, C.M., **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008

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

LEVINE, M., Price L. And Martin N. “Energy and energy efficiency in buildings: a global analysis”. **Anais do 1998 ACEEE Summer study on energy efficiency in buildings**, 1998

LIU, X.; HONG, T. **Comparison of Energy Efficiency Between Variable Refrigerant Flow Systems and Ground Source Heat Pump Systems**, Energy and Buildings, v. 42, p. 584-585, 2010.

MILLS, E. And ROSENFELD, A. “Consumer non-energy benefits as a motivation for making energy-efficiency improvements”. Lawrence Berkeley Laboratory. **Anais do 1998 ACEEE Summer study on energy efficiency in buildings**, 1998.

MIDEA CARRIER, **Manual de Instalação Operação e Manutenção VRF MV5 X – Manual do Projeto**. 2016. Disponível em: <http://www.carrierdobrasil.com.br/modelo/downloads/meu-negocio/63/mv5-x>. Acessado em 15.set.2019.

OLIVETI, Carlos Roberto; SILVA, Robson Jorge Da. **Automação aplicada a refrigeração e climatização**, 1 ed., Editora Senai-Sp. 2016.

PARK, Y.C.; Kim, Y.C.; Min, M.K., **Performance analysis on a multi-type inverter air conditioner**, Energy Conversion and Management, 2001.

POZZA, Fernando. **Ánalyse térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável-VRF**. 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - Universidade federal do rio grande do sul, [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/34759>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SANTOS, Anderson Pinho dos. **Estudo e avaliação de performance em sistemas de ar condicionado: um comparativo entre sistemas split system e sistema vrv (vazão de refrigerante variáveis)**. 2017. Dissertação (mestrado de engenharia de processos) – Universidade Federal do Pará, 2017. Disponível em: [https:// http://ppgep.propesp.ufpa.br/](https://ppgep.propesp.ufpa.br/). Acesso em: 18 abr. 2019.

SCHERER, F.; SOUSA, M. A. B.; IOSHIMOTO, E. Sistemas de monitoração remota para sistemas prediais de elevada tecnologia. **CTAI Revista de automação e tecnologia da informação**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 17-22, jan.-jun. 2002. ISSN 1677-6496.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica Ltda, 1998.

SILVA, José C. **Refrigeração Industrial e Climatização Industrial**, 1 ed., Editora Hermus, 2004.

SOUSA, Marco Antônio Baptista De. **Estudo comparativo entre a aplicação de sistemas dedicados e a utilização de controladores lógico- programáveis na automação de sistemas prediais**. 2004. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004 [S. I.], 2004. Disponível em [https:// https://teses.usp.br/](https://teses.usp.br/). Acesso em: 23/jun. 2019.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Elementos básicos de ar condicionado**. São Paulo: RPA. p.23, 2003.

US Report of the National Policy Development Group. “Using energy wisely. Increasing Energy Conservation and Efficiency”. In: **Reliable affordable and environmentally sound energy for the American Future**. Washington, may, 2001.