

**BÁRBARA ALMEIDA BRAGA
CAIO ROBERTO FERNANDES
ENZO TOMINAGA GUERRINI
GABRIEL SANTINI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
EFICIÊNCIA DE UM CONDICIONADOR DE AR DO TIPO SPLIT UTILIZANDO A
PLATAFORMA LORA**

SÃO CAETANO DO SUL

2018

**BÁRBARA ALMEIDA BRAGA
CAIO ROBERTO FERNANDES
ENZO TOMINAGA GUERRINI
GABRIEL SANTINI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
EFICIÊNCIA DE UM CONDICIONADOR DE AR DO TIPO SPLIT UTILIZANDO A
PLATAFORMA LORA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia
Mauá do Centro Universitário do Instituto
Mauá de Tecnologia como requisito para
obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio
Soares de Paiva

SÃO CAETANO DO SUL

2018

Ficha catalográfica

BÁRBARA ALMEIDA BRAGA
CAIO ROBERTO FERNANDES
ENZO TOMINAGA GUERRINI
GABRIEL SANTINI

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA
EFICIÊNCIA DE UM CONDICIONADOR DE AR DO TIPO SPLIT UTILIZANDO A
PLATAFORMA LORA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia
Mauá do Centro Universitário do Instituto
Mauá de Tecnologia como requisito para
obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Orientador: Prof. Prof. Dr. Marco Antônio
Soares de Paiva

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Antônio Soares de Paiva
Orientador
Escola de Engenharia Mauá

Prof. Me. João Carlos Martins Coelho
Escola de Engenharia Mauá

Prof. Dra. Denise Luciana Rieg
Escola de Engenharia Mauá

São Caetano do Sul, 18 de dezembro de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a nossas famílias e amigos que nos apoiaram durante todo o curso e sempre se fizeram presentes nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a todos os professores e colaboradores que tornaram o resultado desse trabalho possível.

Nossos orientadores Prof. Dr. Marco Antônio Soares de Paiva e Prof. Me. João Carlos Martins Coelho, por toda a paciência e vontade em nos ajudar.

Ao nosso co-orientador Me. Fernando Martins por todo suporte sem o qual o trabalho não seria possível.

“Pensar é o trabalho mais difícil que existe. Talvez por isso tão poucos se dediquem a ele.”

Henry Ford

RESUMO

Por meio de uma pesquisa experimental este trabalho busca verificar a viabilidade de desenvolver um sistema de monitoramento da eficiência de um aparelho de ar condicionado do tipo Split. Para isso foram coletados dados periodicamente do sistema de ar condicionado por meio da tecnologia LoRa, enviando-os para os *gateways* do *smart* campus do Instituto Mauá de Tecnologia. Com isso foi possível o desenvolvimento da metodologia para mensurar a eficiência do equipamento, onde foi constatado a viabilidade do monitoramento de um ar condicionado do tipo Split usando a tecnologia LoraWAN.

Palavras-chaves: Ar condicionado split. LoRa. Monitoramento de ar condicionado.

ABSTRACT

With the technological advances over the years, tools that aid managers and administrators in the processes of monitoring and making decisions for several segments. Through an experimental research, this work search to verify the viability of developing an efficiency monitoring system of the of an apparel of conditioned air of the type Split. For that purpose data was collected periodically of the air conditioner system through the LoRaWAN technology, sending them for the getways of the smart campus of the Instituto Mauá of Technology. That enabled the development of the methodology to measure the efficiency of the equipment, where the viability of the monitoramento of a conditioned air of the type split was verified.

Key Words: Air conditioning Split. LoRa. Air conditioning monitoring.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MECANISMO DE UM CONDICIONADOR DE AR	22
FIGURA 2 - INTERIOR DO AR CONDICIONADO TIPO JANELA	23
FIGURA 3 - AR CONDICIONADO TIPO <i>SPLIT HI-WALL</i>	24
FIGURA 4 - APARELHO TIPO <i>SPLIT CASSETE</i>	25
FIGURA 5 - APARELHO TIPO SPLIT PISO-TETO.....	25
FIGURA 6 - APARELHO TIPO DUTADO OU <i>SPLIT BUILT IN</i>	26
FIGURA 7 – MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA.....	27
FIGURA 8 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	29
FIGURA 9 - MEDIDORES DE VAZÃO POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO: ORIFÍCIO (A), BOCAL (B) E VENTURI (C).....	30
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS	32
FIGURA 11 - BLOCOS PARA CONSTRUÇÃO DA IOT.....	33
FIGURA 12 - ARQUITETUTA BÁSICA DOS DISPOSITIVOS	34
FIGURA 13 - ORGANIZAÇÃO DE REDE LORA.....	37
FIGURA 14 - ETAPAS DE UMA PESQUISA EXPERIMENTAL.....	42
FIGURA 15 – DIAGRAMA DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	47
FIGURA 16 - TUBO VENTURI	48
FIGURA 17 – INSTALAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	49
FIGURA 18 – PRESSÃO DO GÁS REFRIGERANTE.....	50
FIGURA 19 - PLATAFORMA THINKSPEAK.....	52
FIGURA 20 - DASHBOARD DO SMART CAMPUS MAUÁ.....	53
FIGURA 21 – DIVERGÊNCIA NA MEDIÇÃO DA CORRENTE DO EQUIPAMENTO	54
FIGURA 22 – LISTA DE SIMULAÇÃO NO EES	56
FIGURA 23 – DIAGRAMA DA SIMULAÇÃO NO EES	57
FIGURA 24 – GRAFICO DO Q_{CALC} NA PLATAFORMA THINKSPEAK	60
FIGURA 25 – FLUXOGRAMA PARA MEDIÇÃO DO COP	61
FIGURA 26 - MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA NO THINKSPEAK	62
FIGURA 27 - DESENHO TÉCNICO DO TUBO VENTURI.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO	36
TABELA 2 – LISTA DE MATERIAIS	46
TABELA 3 – EXEMPLO DOS RESULTADOS EXTRAIDOS DA SIMULAÇÃO DO EES	57
TABELA 4 – TABELA PARA MINIMIZAÇÃO DO ERRO PERCENTUAL MÉDIO.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - REPRESENTATIVIDADE POR TIPO DE EQUIPAMENTO VENDIDO..... 18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Btu/hora	Unidade de potência pela medida inglesa <i>British Thermal Unit</i>
C°	Unidade de temperatura graus célsius
COP	Coefficiente de performance
CPU	Unidade Central de Processamento - <i>Central Processing Unit</i>
d.d.p.	Diferença de potencial
DP5	Diferencial de pressão
EF	Entidades Físicas
EV	Entidades Virtuais
EXI	<i>Efficient XML Interchange</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IEEE	<i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i>
IoT	Internet das Coisas - <i>Internet of Things</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LoraWAN	<i>Long Range Low Power Wide Area Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
m ³ /h	Unidade de vazão metro cúbico por hora
NFC	<i>Near Field Communication</i>
Pcond	Pressão na entrada do condensador
Pevap	Pressão na entrada do evaporador
Qcal	Transferência de calor no evaporador calculada
QevapREAL	Transferência de calor no evaporador real
RF	Roteamento na fonte
RDF	<i>Resource Description Framework</i>

RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
W	Watts
WOL	<i>Web Ontology Language</i>
WRAC	<i>Window Room Air Conditioner</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
1.3	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.4	QUESTÃO DA PESQUISA.....	19
1.5	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	AR CONDICIONADO	20
2.1.1	História do condicionador	20
2.1.2	Condicionador de ar	21
2.1.3	Aparelhos de ar condicionado	22
2.2	CORRENTE ELÉTRICA	26
2.2.1	Medição de corrente elétrica	27
2.3	CIÊNCIAS TERMICAS	28
2.3.1	Conceitos de transferência de calor	28
2.3.2	Propriedades físicas dos fluidos	28
2.4	MEDIÇÃO DE VAZÃO.....	30
2.4.1	Tubo de Venturi	30
2.5	INTERNET DAS COISAS (<i>INTERNET OF THINGS</i> – IOT)	31
2.5.1	Blocos básicos para construção da IoT	32
2.6	DISPOSITIVOS DE COMUNICAÇÃO	34
2.7	TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO.....	35
2.7.1	Rede LoRa	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	TIPO DA PESQUISA	39
3.2	LIMITAÇÕES DO MÉTODO ESCOLHIDO.....	42
3.3	VARIÁVEIS DA QUESTÃO DA PESQUISA	43
3.4	FONTES DE DADOS	43
3.4.1	Fontes de dados primários	43
3.4.2	Fontes de dados secundários	44

3.5	PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	44
3.6	PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS	45
4	ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	46
4.1	SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO	46
4.2	INSTALAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	49
4.3	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS	50
4.3.1	Coleta de dados	50
4.3.2	Tratamento dos dados	53
4.4	CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERFORMANCE - COP	54
4.4.1	Equação para a Transferência de calor no evaporador - Q_{calc}	55
4.4.2	Calculo do trabalho realizado pelo compressor - W_{calc}	60
4.4.3	Medição do COP	61
5	CONCLUSÕES	63
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – DESENHO TECNICO DO TUBO VENTURI	69
	APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO TUBO VENTURINO SOFTWARE EES	70
	APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO COP NA SALA DE TESTE NO SOFTWARE	
	EES	73
	APÊNDICE D – CODIGO MATLAB PARA EXIBIÇÃO DO GRAFICO Q_{CALC}	75
	APÊNDICE E – CODIGO MATLAB PARA EXIBIÇÃO DO GRAFICO DO COP	77

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é verificar a viabilidade de medir a eficiência de um aparelho de ar condicionado do tipo *Split* com a utilização da rede LoraWAN.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a busca pelo desenvolvimento sustentável, a eficiência energética é um dos assuntos mais citados nos dias atuais. O uso racional e consciente da energia elétrica é essencial para a redução dos impactos ambientais, e tem se tornado cada vez mais uma meta consensual no âmbito global. Contudo, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a energia elétrica ainda é a modalidade mais consumida no Brasil, principalmente nos setores industrial, residencial e comercial.

Segundo estudo do Ministério de Minas e Energia (ESTADÃO, 2017), um dos grandes responsáveis pelo aumento substancial de consumo de energia nestes setores é o ar condicionado, sendo 80% do mercado deste segmento do tipo *split*.

O mercado de ar condicionado movimenta milhões de reais todos os anos e segundo projeções publicadas no relatório da *Transparency Market Research* (2016), companhia de pesquisas, o segmento deve movimentar mais de US\$ 167 bilhões em 2024.

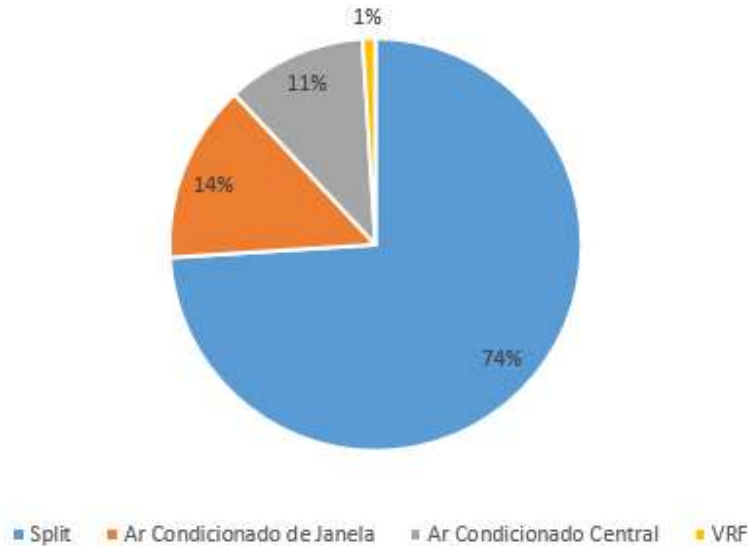
Esses números são ainda mais expressivos quando se observa o crescimento na venda de aparelhos de ar condicionado tipo *split* referentes aos outros tipos de equipamentos, que foi de 72% no período de 2014 segundo o balanço da ASBRAV (2015), ilustrado no Gráfico 1.

Além do expressivo crescimento na venda de aparelhos de ar condicionado, também pode-se notar uma tendência no aumento da conectividade entre aparelhos eletroeletrônicos, tanto na indústria quanto no uso domiciliar. *Smart tvs*, geladeiras inteligentes, *smart phones* e muitos outros têm estado cada vez mais em evidência nos últimos anos. De acordo com projeção da ERICSSON (2016), até o final de 2021 se juntarão a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) 16 bilhões de aparelhos

conectados.

GRÁFICO 1 - REPRESENTATIVIDADE POR TIPO DE EQUIPAMENTO VENDIDO

REPRESENTATIVIDADE POR TIPO DE EQUIPAMENTO VENDIDO



FONTE: Os autores, com base nos dados da ASBRAV (2015).

Devido ao crescimento no número de vendas de aparelhos de ar condicionado Split e da falta de instrumentos de medição de eficiência e desempenho, surge a oportunidade para criação de um mecanismo de medição e gerenciamento que possa trazer aos usuários um retorno financeiro significativo por meio da economia de energia e manutenção preditiva.

Aparelhos e sistemas tradicionais de medição são de modo geral bastante custosos e de difícil instalação. Para que a aplicação de um sistema de medição seja economicamente viável, o sistema de medição e acompanhamento tem de ter um custo baixo de aquisição e instalação. Em uma visão preliminar, o sistema LoraWAN (*Long Range Low Power Wide Area Network*) apresenta todas as características para que seja viável sua aplicação como sistema de medição e coleta de dados, pois o hardware necessário é de baixo custo, assim como sua instalação. Além do seu consumo energético, que é quase desprezível quando comparado com o de um aparelho de ar condicionado tradicional (LORA ALLIANCE, 2017).

1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Sistemas de ar condicionado são responsáveis por um percentual significativo do consumo de energia nas casas e na indústria. O aumento da sua utilização, somado à ineficiência e à falta de manutenção, gera um prejuízo financeiro muito grande e que atualmente não pode ser mensurado de forma precisa ou prevenido, devido à falta de instrumentos de medição e monitoramento. Não existe atualmente uma forma simples e barata de fazer tais medições, tampouco de auferir de forma confiável se as especificações do manual como eficiência e consumo energético condizem com a realidade

1.4 QUESTÃO DA PESQUISA

Como criar um sistema de monitoramento de ar condicionado economicamente viável para acompanhar a eficiência energética desses aparelhos?

1.5 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

A principal contribuição deste trabalho é disponibilizar uma ferramenta de monitoramento de eficiência energética em aparelhos de ar condicionados utilizando um sistema LoRa.

Outra contribuição deste trabalho é para com o meio ambiente, pois com a pesquisa experimental será possível analisar o consumo energético dos aparelhos de ar condicionado do tipo Split e entender melhor o comportamento de sua eficiência energética ao longo do tempo e em diferentes condições.

Por fim, o trabalho propõe implantar um processo de monitoramento dos sistemas de ar condicionados, permitindo identificação de possíveis defeitos e oportunidades de melhoria.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AR CONDICIONADO

2.1.1 História do condicionador

Segundo (GONÇALVES, 2005), a primeira patente de uma máquina de refrigeração mecânica foi inglesa e data de 1834, ainda semelhante aos sistemas utilizados nos dias atuais. Estes equipamentos eram também de tal natureza que requeriam a assistência permanente de um mecânico ou um engenheiro de operação.

Com isso, de acordo Antonovicz e Weber (2013), deu o início para o desenvolvimento de aparelhos de climatização em ambientes fechados, a criação do primeiro mecanismo foi elaborado pelo engenheiro norte-americano Willys Carrier em 1902. Esta tecnologia surgiu devido a um problema em uma empresa dos Estados Unidos situada em Nova York, onde a temperatura elevada do verão e a umidade do ar faziam com que o papel durante a impressão absorvesse essa umidade, de forma destorcida os textos e figuras. O equipamento desenvolvido resfriava o ambiente de confecção da fábrica através da sua circulação por dutos resfriados artificialmente.

Após esta experiência muitas indústrias americanas aderiram a este sistema de dutos resfriados artificialmente. Carrier em 1914 desenvolveu um aparelho para uso doméstico, que era muito maior e mais simples do que o ar condicionado de hoje em dia, e também foi responsável pelo primeiro ar condicionado aplicado à hospitais, projetado com o objetivo de aumentar a circulação de ar e umidade (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

Em 1950 começaram a ser produzidos em massa de tal maneira que no último século acabou ocupando os mais diversos setores. Podem ser categorizados em: doméstica, comercial, industrial e para transporte (RODRIGUES, 2010).

A maioria das unidades de condicionamento de ar está associada a aplicações de conforto, pois visa o conforto térmico das pessoas, já que controla a temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado (RODRIGUES, 2010).

2.1.2 Condicionador de ar

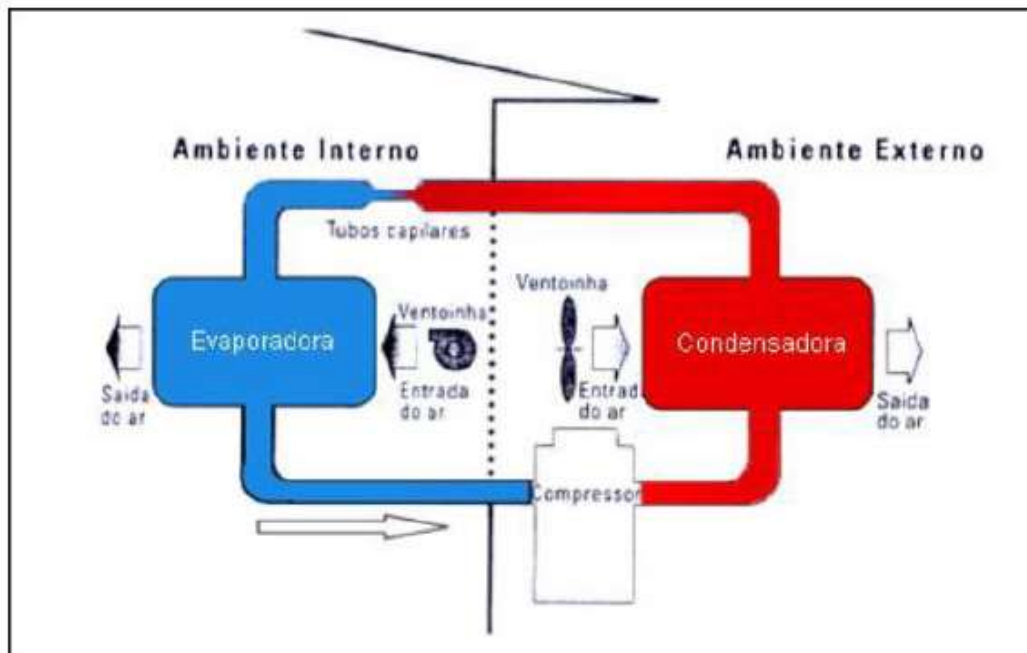
O condicionamento de ar consiste no tratamento do ar ambiente, controlando sua temperatura, umidade, movimentação e pureza, proporcionando condições ideais para o ser humano, como relata Bryant (2001).

De acordo com Antonovicz e Weber (2013), condicionadores de ar podem ser comparados com geladeiras sem seu gabinete. Com mecanismos do ciclo de refrigeração semelhantes. Usa a evaporação de um fluido refrigerante para climatização dos ambientes, Figura 1. Fluorcarbonos, chamados também pelo termo freon, são utilizados como refrigerantes e combustíveis nos aerossóis.

O freon mais utilizado era o R-22 (monoclorodifluormetano), mas atualmente vem sendo substituído pelo R-410A (hidrofluorcarboreto). Este último causa menos agressão à natureza, uma vez que não afeta a camada de ozônio por não possuir CFCs (clorofluorcarbonos) e também não é tóxico e nem inflamável (KOMEKO, 2016). O R22 é uma parte do Protocolo de Montreal, assinado por muitos países. Cumprindo-se os prazos propostos para a eliminação do R22, os operadores podem buscar estratégias de novos sistemas até 2040. O cenário de substituição do R-22 na indústria de refrigeração e condicionamento de ar aponta para uma série de fluidos alternativos. Nesse contexto, fabricantes da indústria de refrigeração e condicionamento de ar buscam soluções que atendam às metas sem deixar o bom desempenho de lado (DANFOS, 2018).

O ciclo de refrigeração começa quando o compressor comprime o gás frio, fazendo com que ele se torne gás quente de alta pressão (em vermelho na Figura 1). Este gás quente escoar através de um trocador de calor para rejeitar calor e se condensa. O líquido escoar através de uma válvula de expansão e no processo parte dele vaporiza obtendo-se vapor frio de baixa pressão (em azul). Essa mistura é impulsionada ao evaporador passando pelos ventiladores que, por sua vez, devolvem o vapor para o compressor, reiniciando o ciclo novamente (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

FIGURA 1 - MECANISMO DE UM CONDICIONADOR DE AR



FONTE: Antonovicz e Weber (2013)

2.1.3 Aparelhos de ar condicionado

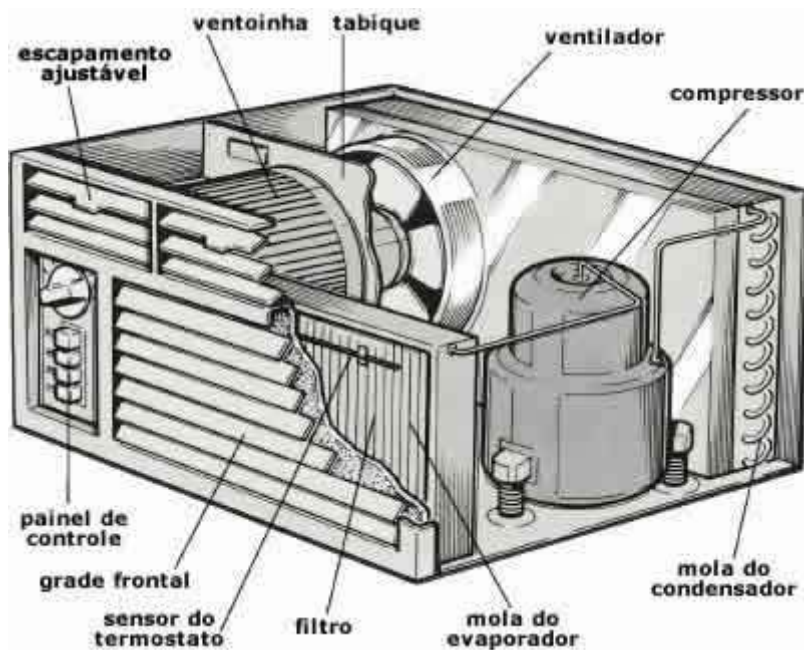
Os aparelhos podem ser categorizados pelo seu uso em: doméstica, comercial, industrial, para transporte e para condicionamento de ar (RODRIGUES, 2010).

2.1.3.1 Aparelho tipo Janela

O ar condicionado tipo janela, também chamado de *Window Room Air Conditioner* (WRAC), apresenta todos os componentes em um único equipamento compacto, ilustrado na Figura 2. Isto é, os mecanismos que geram ruídos não são isolados, o funcionamento da máquina pode ser ouvido no ambiente (STOECKER e JONES, 1985).

A linha do ar condicionado tipo janela tem baixa capacidade de refrigeração, sendo possível encontrar no mercado modelos de baixa potência, de 7000 Btu/h, até os no máximo a 30000 Btu/h (SOARES, 2014). Btu/h é a unidade mais utilizada no Brasil para definir a capacidade térmica de um equipamento, segundo Arcoweb (2005).

FIGURA 2 - INTERIOR DO AR CONDICIONADO TIPO JANELA



FONTE: Soares (2014)

De acordo com Antonovicz e Weber (2013), o aparelho de janela apresenta algumas vantagens:

- Por serem compactos e de baixa potência podem ser adquiridos por um valor mais barato em relação aos outros modelos;
- Aparelho compacto devido a unidade condensadora, o compressor e a unidade evaporadora estarem modulos;
- Baixa complexidade de instalação.

2.1.3.2 Aparelho tipo *Split Hi-Wall*

Ar condicionado do tipo *Split Hi-Wall*, também chamado de “parede”, é um aparelho que permite sua instalação na parede, Figura 3. É o tipo de *split* mais utilizado em residências e empreendimentos devido seu pequeno porte e *design* elegante (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

Segundo Soares (2014) a linha de equipamentos do tipo *Split* está ganhando cada vez mais espaço no mercado residencial por apresentar um baixo nível de ruído e baixa vazão de ar. Além disso, há uma grande variedade de equipamentos para

atender as diversas demandas em termos de custo, estética e consumo de energia. Produzidos mais diversas capacidades 7.000, 7.500, 8.500, 9.000, 12.000, 18.000, 22.000 e 30.000 Btu/h (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

FIGURA 3 - AR CONDICIONADO TIPO *SPLIT HI-WALL*



FONTE: Carrier do Brasil (2018)

Segundo Gonçalves (2005), outras vantagens estão nos compressores de alta eficiência instalados em áreas externas, deixando apenas a unidade evaporadora no interior dos ambientes, instalada no forro ou em paredes. O condicionador de ar *split* interliga a unidade evaporadora e a unidade condensadora através da linha frigorígena (utilização de tubos de cobre). A unidade evaporadora realiza a sucção do ar quente do ambiente e a devolução do ar refrigerado – no caso do modo de resfriamento, é a unidade interna, aquela que fica no interior da sala. A linha frigorífera que sai do evaporador e vai para o condensador é denominada linha de sucção e a linha que sai do condensador e liga ao evaporador é denominado linha de líquido.

2.1.3.3 Aparelho tipo *Split Cassete*

É um modelo de ar-condicionado que geralmente possui quatro vias para difusão de ar e ideal para ser instalado em tetos com forro, conforme mostrado na Figura 4. De acordo com Soares (2014) os equipamentos *split cassete* foram projetados para atender ambientes de pequeno porte, cuja instalação da unidade evaporadora seja embutida no teto. Uma das vantagens desse *split* é que ele fica embutido no teto e

apenas o espelho do equipamento fica a mostra.

A capacidade dos cassetes em geral são de 18.000 Btu/h, 24.000 Btu/h, 30.000 Btu/h, 36.000 Btu/h, 41.000 Btu/h, 48.000 Btu/h, 51.000 Btu/h e 60.000 Btu/h. (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

FIGURA 4 - APARELHO TIPO *SPLIT CASSETE*



FONTE: Carrier do Brasil (2018)

2.1.3.4 Aparelho tipo *Split* Piso-Teto

Segundo SOARES (2014), o ar condicionado *Split* Piso-Teto é um modelo que traz um forte desempenho para refrigeração dos ambientes e apresenta três maneiras de instalação, sendo no piso, no chão ou no teto, Figura 5. Sendo um modelo versátil e liberando um espaço maior para o tráfego de pessoas ou objetos

FIGURA 5 - APARELHO TIPO *SPLIT* PISO-TETO



FONTE: Carrier do Brasil (2018)

2.1.3.5 Aparelho tipo Dutado ou *Split Built in*

O ar condicionado do tipo dutado, mostrado na Figura 6 é um sistema normalmente indicado para ambientes de carga térmica elevada, ambientes considerados grandes, como escritórios, consultórios, salas comerciais em geral, shoppings, casas de *shows*, entre outros. Ideal também para locais com forro rebaixado e situações onde a unidade interna não deve ficar a mostra (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

Além disso, de acordo com Soares (2014), os ar condicionados do tipo dutado estão disponíveis com capacidade entre 18000 e 60000 Btu/h.

FIGURA 6 - APARELHO TIPO DUTADO OU *SPLIT BUILT IN*



FONTE: Carrier do Brasil (2018)

2.2 CORRENTE ELÉTRICA

Segundo Cotrim (2009), a corrente elétrica é o movimento sistemático dos elétrons livres dentro do condutor, influenciado por uma diferença de potencial (d.d.p.) ou fonte de tensão. Para Creder (2007), tal movimento visa restaurar o equilíbrio que, devido a ação do campo elétrico ou por influência de outros fatores, como atrito ou alguma reação química, havia sido desfeito.

A corrente elétrica é representada pela letra I e sua unidade de medida é o Ampère (A), na qual define o fluxo de cargas elétricas, que percorrem um condutor, em um determinado intervalo de tempo. Sendo assim, a corrente existirá apenas quando

houver carga em um circuito fechado (CAVALIN, 2006).

2.2.1 Medição de corrente elétrica

Para medição da corrente elétrica, é necessário que o instrumento de medição seja conectado em série ao circuito de interesse. Isso se deve ao fato de que a corrente deve circular pelo instrumento, além de adicionar uma menor resistência possível, sendo quando possível igual a zero, de forma a não afetar a dinâmica do circuito que se quer medir Recco (2017).

Quando não é possível efetuar a medição em série, usa-se um alicate amperímetro. Este equipamento atua como um sensor de corrente, que deve ser colocado no cabo que deve ser medido e, por meio de um sensor com base no efeito *hall*, você realiza a medição da corrente, seja ela contínua ou alternada, demonstrado na Figura 7.

FIGURA 7 – MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA



FONTE: RECCO (2017)

2.3 CIÊNCIAS TERMICAS

2.3.1 Conceitos de transferência de calor

Segundo Moran (2005), transferência de calor é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura, ou seja, sempre que houver uma diferença de temperatura entre um ou mais meios, haverá uma transferência de calor. Fazendo uma conexão com outros conceitos já abordados, quando há uma transferência de calor para um sistema, há um aumento da entropia, pois aumenta-se a desordem das moléculas. Em contrapartida, quando há uma transferência de calor de um sistema, há uma diminuição na entropia.

2.3.2 Propriedades físicas dos fluidos

2.3.2.1 Massa específica

De acordo com Moran (2005), a massa específica representa a quantidade de massa de um determinado fluido inserido em uma unidade de volume. Por esta informação, é possível definir se este fluido é mais compacto ou menos compacto. A relação é diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a massa específica, mais compacto será o fluido.

A massa específica é dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde V é o volume e m a massa do fluido.

2.3.2.2 Vazão mássica

Vazão mássica é quantidade de fluido que atravessa uma determinada região transversal de um duto em uma determinada unidade de tempo (MORAN, 2005). Definida por:

$$\dot{m} = \rho / V \quad (2)$$

Onde V representa a vazão volumétrica em m^3/s , e ρ a densidade em kg/m^3 .

2.3.2.3 Coeficiente de performance - COP

Também conhecido como Coeficiente de Desempenho, é um dos parâmetros de importância durante as análises de instalação de um sistema de refrigeração. Relaciona-se o efeito desejado na refrigeração, com o que se paga por isso, ou seja, a energia consumida, avaliando a capacidade o ciclo de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor. O objetivo do ciclo de refrigeração é a remoção de calor do ambiente a ser refrigerado, e com isso o seu coeficiente de desempenho (COP), é definido como sendo a razão entre o calor retirado e o trabalho realizado. (GUIMARÃES, 2011).

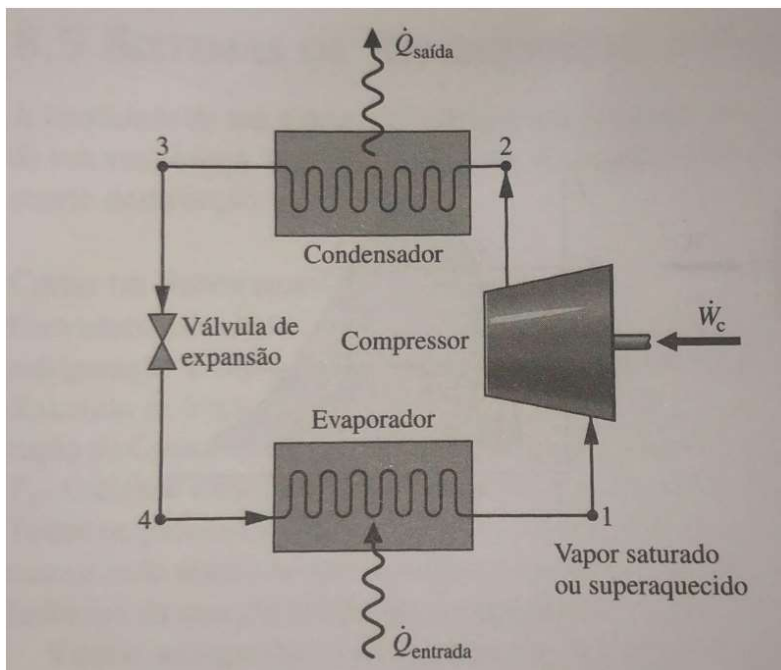
$$COP = \frac{ENERGIA\ UTIL}{ENERGIA\ GASTA} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{cp}} \quad (3)$$

Onde:

\dot{Q}_{evap} = Taxa de transferência de calor no evaporador (Watts);

\dot{W}_{cp} = Taxa de trabalho pelo compressor (Watts);

FIGURA 8 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO



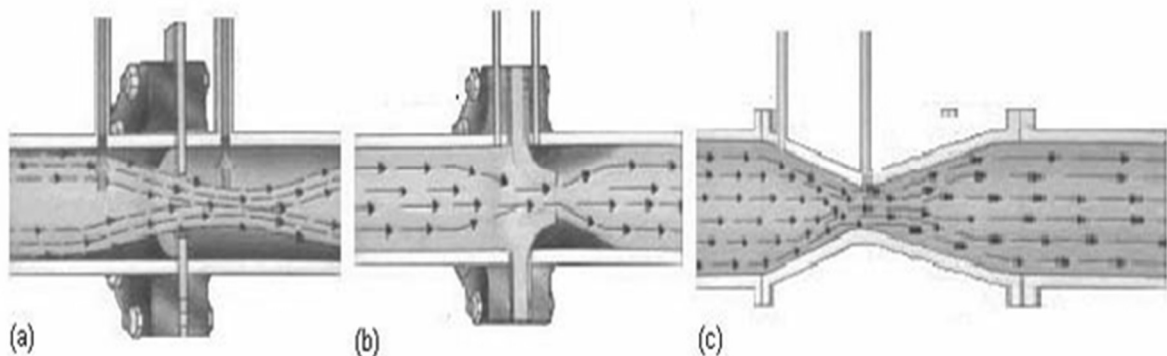
FONTE: Moran (2005)

2.4 MEDIÇÃO DE VAZÃO

O uso de medidores de vazão é uma prática bem antiga, segundo Delmée (1995), os primeiros vestígios do uso de medidores de vazão, baseados no princípio da diferença de pressão, foi da civilização egípcia, aplicado à agricultura.

Os medidores do tipo diferencial de pressão constituem cerca de 50% dos equipamentos utilizados em condutos forçados. O Venturi é o medidor com melhor desempenho entre os seus similares, na categoria de medidores de obstrução. Os medidores diferenciais são dispositivos que promovem uma redução na seção de escoamento de uma tubulação, de modo a produzir uma diferença de pressão, em consequência do aumento da velocidade. A figura 9 apresenta os três medidores de vazão por diferencial de pressão mais usados (DELMÉE, 1995).

FIGURA 9 - MEDIDORES DE VAZÃO POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO: ORIFÍCIO (A), BOCAL (B) E VENTURI (C)



FONTE: Delmée (1995)

2.4.1 Tubo de Venturi

O tubo Venturi pertence à categoria dos elementos primários geradores de pressão diferencial e pode operar com líquidos, gases e vapor, sendo instalado em série com a tubulação (DELMÉE, 1995).

Uma das formas indiretas de medição de vazão consiste em usar outras variáveis físicas geradas pelo fluido, como queda de pressão, velocidade, força, etc., e por meio da medição da variação destas variáveis, determinar o valor da vazão.

Normalmente a medição da vazão efetua-se com elementos que medem o diferencial de pressão, e nessa categoria encontra-se o Venturi, que deve ser de preferência utilizado em posição horizontal (DELMÉE, 1995).

Segundo Delmée (1995), são confeccionados com qualquer material, tendo que respeitar apenas a especificações.

O tubo Venturi combina dentro de uma unidade simples, uma curta garganta cilíndrica entre duas seções cônicas de maior diâmetro, sendo a primeira convergente e a segunda divergente. Seu objetivo é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão. É um elemento medidor de vazão de diferencial de pressão. A diferença de pressão entre as duas seções distintas do medidor é proporcional à vazão que escoar por ele. A diferença de pressão é produzida por efeitos inércias, a aceleração do escoamento devido à obstrução do mesmo (redução de área na garganta) e efeitos viscosos, isto é, a perda de carga. Alguma das principais razões de usar elementos de obstrução é para se medir vazão mássica, além disso, a tubulação pode ter qualquer diâmetro. (DELMÉE, 2009)

2.5 INTERNET DAS COISAS (*INTERNET OF THINGS* – IOT)

Com o avanço das tecnologias, a oferta de serviços através da *Web* tem aumentado de forma expressiva e a cada momento eles evoluem facilitando cada vez mais nosso dia-a-dia. Com esta evolução surgiu a ideia de se conectar o meio físico ao virtual, o que recebeu o nome de Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT). Segundo Valente (2011), é um paradigma que tem por objetivo criar uma ponte entre acontecimentos do mundo real e as suas representações no mundo digital, por meio da conexão de objetos físicos à Internet.

Conforme Ayres e Sales (2010), o propósito da IoT consiste em ligar tudo à Internet, e formar uma rede em que cada objeto se comunique com outros objetos e gere informações para serem usadas de diversas formas, isso tudo utilizando os protocolos já existentes na Internet, figura 10.

FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS



Fonte: Fluxo Consultoria (2016)

De acordo com a Fluxo Consultoria (2016), atualmente praticamente qualquer coisa pode ser conectada à IoT. Em uma casa que possua um ambiente controlado eletronicamente através da IoT, por exemplo, a temperatura, umidade e iluminação podem ser controladas através de sensores de acordo com sua programação ou verificando a melhor escolha com a ajuda da Internet, ou como podemos também chamar, um ambiente “inteligente”.

2.5.1 Blocos básicos para construção da IoT

Segundo Santos (2016), a IoT é composta por diversas tecnologias complementares para integração dos objetos ao mundo virtual. A Figura 11 apresenta os blocos básicos de construção os quais são descritos a seguir:

FIGURA 11 - BLOCOS PARA CONSTRUÇÃO DA IOT



FONTE: Santos (2016)

Santos (2011) os blocos são definidos das seguintes formas:

- Identificação: identificar os objetos unicamente é primordial para conectá-los à Internet. RFID (*Radio-Frequency IDentification*), NFC (*Near Field Communication*) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.
- Sensores: coletam informações sobre o contexto dos objetos e em seguida, armazenam ou encaminham esses dados para centros de armazenamento ou banco de dados na nuvem (*clouds*).
- Comunicação: diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, RFID e Long Range Low Power Wide Area Network (*LoraWan*)
- Computação: inclui a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e Field Programmable Gate Array (FPGAs), responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.
- Serviços: a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se:
 - Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor

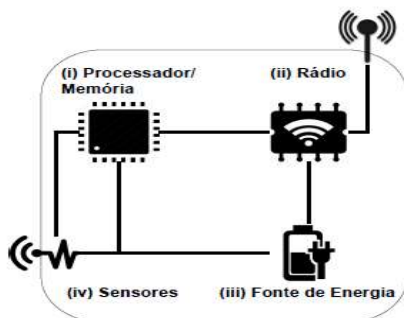
e instante da coleta;

- Serviços de Agregação de Dados que coletam e sumarizam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes;
- Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e Serviços de Ubiquidade que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.
- Semântica: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como *Resource Description Framework (RDF)*, *Web Ontology Language (WOL)* e *Efficient XML Interchange (EXI)*.

2.6 DISPOSITIVOS DE COMUNICAÇÃO

De acordo com Santos (2011), os dispositivos inteligentes e as tecnologias de comunicação, principalmente as soluções de comunicação sem fio que tendem a se popularizar no ambiente de IoT. A arquitetura básica dos objetos inteligentes é composta por quatro unidades: processamento/memória, comunicação, fonte de energia e sensores. A Figura 12 apresenta uma visão geral da arquitetura de um dispositivo e a interligação entre seus componentes, os quais são descritos a seguir:

FIGURA 12 - ARQUITETURA BÁSICA DOS DISPOSITIVOS



FONTE: Santos (2016)

- Unidade(s) de processamento/memória: um micro controlador e um conversor analógico-digital para receber sinais dos sensores, composta de uma memória interna para armazenamento de dados e programa. As CPUs utilizadas nesses dispositivos não apresentam alto poder computacional.
- Unidade(s) de comunicação: consiste de pelo menos um canal de comunicação com ou sem fio, sendo mais comum o meio sem fio.
- Fonte de energia: responsável por fornecer energia aos componentes do objeto inteligente. Normalmente, a fonte de energia consiste de uma bateria (recarregável ou não) e um conversor de corrente alternada e contínua e tem a função de alimentar os componentes.
- Unidade(s) de sensor(es)/atuador(es): realizam o monitoramento do ambiente no qual o objeto se encontra. Os sensores capturam valores de grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão e presença.

2.7 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Segundo Junior (2016), para que haja a conexão entre todos os dispositivos ou “coisas” se faz necessária a utilização de protocolos de comunicação e, sua padronização, permitindo a interoperabilidade. A partir dos meios de telecomunicações atuais já há uma vasta lista de padrões estabelecidos pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) e IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineers*), tais como Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, 3G e 4G-LTE, que podem também serem utilizados para IoT, entretanto, haja vista o alto consumo energético que eles apresentam, frente a premissa de se ter uma arquitetura de hardware com baixo consumo de energia nesta nova era em que todas as coisas se conectam à internet, faz-se necessário a padronização de protocolos que atendam a esse requisito. Tecnologias e protocolos como RFID, ZigBee e LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) já são utilizadas para a troca de dados entre dispositivos, principalmente em soluções de automação, oferecendo baixo consumo de energia e capacidade para suportar diversos dispositivos, as chamadas “coisas”, na mesma rede.

Tendo em vista ainda a necessidade de que eles se conectem à internet e suportem

milhares de dispositivos, os protocolos que possuem suporte a redes IP (*Internet Protocol*) são mais propensos a serem padronizados. Neste cenário o protocolo LPWAN torna-se uma das principais ferramentas para que tudo esteja conectado (JUNIOR, 2016)

A Tabela 1 resume as tecnologias de comunicação apresentadas. As principais características de cada uma são elencadas, o que permite compará-las. Em particular, destaca-se a grande variedade de possibilidades para conectar dispositivos. Portanto, é preciso ponderar acerca das características das tecnologias e finalidade do dispositivo para escolher a melhor forma de conectá-lo.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	IPv6	Topologia
Ethernet	100/2000m	N/A	10 Gbps	Sim	Variada
Wi-Fi	50m	2.4/5 GHz	1300 Mbps	Sim	Estrela
BLE	80m	2.4 GHz	1 Mbps	Sim*	Estrela/Mesh
ZigBee	100m	915 MHz/2.4 GHz	250 kbps	Sim	Estrela/Mesh
3G/4G	35/200 km	1900/2100/2500MHz	1/10 Mbps	Sim	Estrela
SigFox	10/30 km	868/902MHz	10-1000 bps	-	-
LoraWan	2/5 km	Sub-GHz	0.3-50 kbps	Sim	Estrela

FONTE: Santos (2016)

2.7.1 Rede LoRa

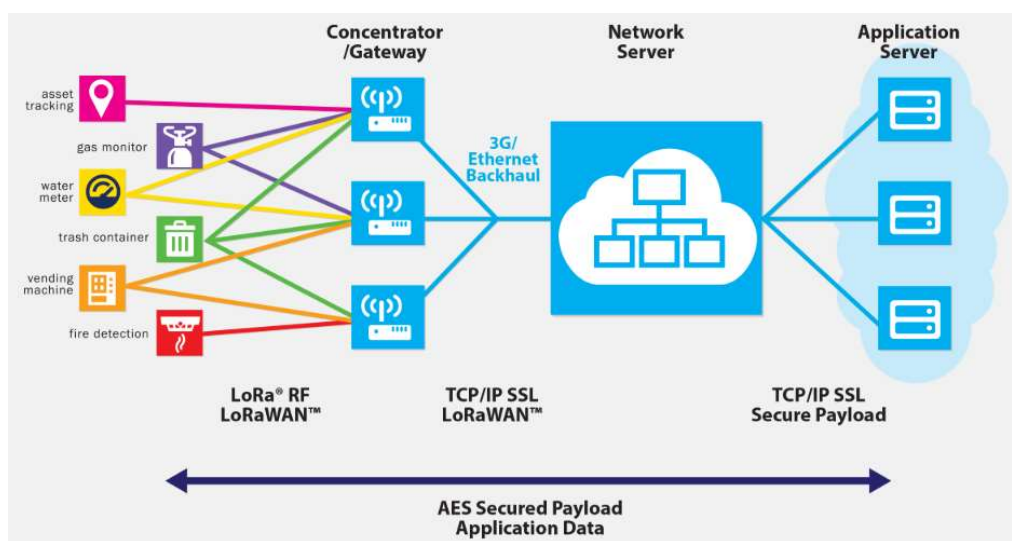
De acordo com a LoRa Alliance (2018), o padrão LoRa se encaixa no tipo de tecnologia denominada rede de área ampla de baixa potência, em inglês *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), esses tipos de redes permitem comunicação sem fio eficiente através de distâncias muito longas, que variam de 5 a 20km.

LoRa é considerada a camada física, enquanto que o termo LoraWAN é um protocolo de ligação de dados de nível MAC (*Media Access Control*) para uma rede de alta capacidade e baixa potência. O protocolo LoraWAN é otimizado para sensores de baixo custo, com bateria e inclui diferentes classes de nós para otimizar o *tradeoff* entre a latência da rede e a vida útil da bateria (LORA ALLIANCE, 2018).

A arquitetura de rede LoraWAN é implantada em uma topologia de estrelas em que os *gateways* retransmitem mensagens entre os dispositivos finais e um servidor de

rede central. Os *gateways* são conectados ao servidor de rede por meio de conexões IP padrão e atuam como uma ponte transparente, simplesmente convertendo pacotes RF (Roteamento na fonte) em pacotes IP e vice-versa. A comunicação sem fio aproveita as características de *Long Range* da camada física LoRa, permitindo um link de um único salto entre o dispositivo final e um ou vários *gateways*. A Figura 13 demonstra a organização de rede LoRa.

FIGURA 13 - ORGANIZAÇÃO DE REDE LORA



FONTE: Semtech (2018)

Todos os modos são capazes de comunicação bidirecional, ou seja, funciona com requisições e resposta ao servidor de rede. O conceito de *Multicast*, no qual a entrega de informação para múltiplos destinatários ocorre simultaneamente, é muito importante neste tipo de rede, já que viabiliza a atualização e envio dos dados via rede sem fio, minimizando o tempo de viagem dos dados.

Segundo Bor et al. (2016), os dispositivos LoRa disponíveis hoje podem operar entre 137MHz a 1020MHz. Em alguns países, já estão definidos os espectros em que as redes LoRa poderão atuar. Nos Estados Unidos e na Europa, por exemplo, as faixas permitidas estão entre 433MHz e 915MHz. No Brasil, segundo relatório da Associação Brasileira de Internet das Coisas - ABINC (2016) ainda não existe na especificação atual um plano de frequências oficialmente atribuído.

Existem algumas particularidades que tornam o LoraWAN um destaque entre as

LPWAN. O protocolo tem apoio e investimento de grandes empresas de diversos setores, a maior parte de seu código é trabalhado de forma colaborativa e aberto publicamente e a segurança com multicamadas baseada em encriptação 128AEs lhe confere um nível de segurança de informação muito superior aos seus semelhantes; o conjunto de todos esses fatores torna o LoraWAN o protocolo mais promissor para ser amplamente utilizado com o crescimento do ambiente IoT.

Para este trabalho será usado o sistema LoraWan com antena omnidirecional acoplada a um *gateway* conectado à internet do Campus do Instituto Mauá de Tecnologia. O *hardware* eletrônico de sensoriamento foi desenvolvido também pelo próprio Centro de Pesquisas do campus.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é discutido o método de pesquisa utilizado e os procedimentos decorrentes dessa escolha.

3.1 TIPO DA PESQUISA

Devido aos diversos tipos de métodos científicos de pesquisa na engenharia de produção, as escolhas destes foram base para o estudo das questões centrais da pesquisa, conduzindo a equipe envolvida à apresentação dos resultados de uma maneira clara e objetiva. A classificação passou desde a sua finalidade, seu contexto, sua profundidade, sua natureza e sua temporalidade.

Analisando a finalidade da pesquisa, o trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, pois segundo Fontelles *et al.* (2009) é o tipo de pesquisa que tem como objetivo produzir conhecimentos científicos voltada à aplicação prática, tal como se aplica a o problema desde trabalho.

Quanto ao contexto da pesquisa, três possibilidades são as comumente consideradas: pesquisa bibliográfica, de laboratório ou de campo.

De acordo com Gil (2010) quando é observada e interpretada uma comunidade de estudo ou processos e compreendendo as diferentes características de um fenômeno a pesquisa é considerada de campo. Considerando-se os processos que envolvidos no resfriamento de uma sala do Instituto Mauá de Tecnologia, pode-se classificar a pesquisa como sendo uma pesquisa de campo quanto ao seu contexto.

Além disso a pesquisa pode ser classificada por sua profundidade em: exploratória, explicativa e descritiva. Este trabalho pode ser classificado como pesquisa descritiva. Segundo Gil (2010), pesquisas descritivas tem o objetivo primordial de estudar as características de determinada população ou fenômeno, ou então, estabelecer a relação destas variáveis.

A temporalidade da pesquisa pode ser longitudinal, transversal e *ex post facto*. Esta pesquisa é mais bem classificada como longitudinal, pois os dados utilizados foram colhidos em um intervalo de tempo, com o acompanhamento das variáveis do

fenômeno por esse período de tempo, o que, conforme Fontelles *et al.*(2009), é uma característica dessa classificação.

Porém, antes de tomar a decisão sobre o método de pesquisa, torna-se necessário identificar o caráter da pesquisa, ou seja, se possui características quantitativa ou qualitativa. Busnello (2005) resumem essa abordagem como tudo o que pode ser mensurado em números, classificado e analisado, utilizando de técnicas estatísticas, que foi a forma utilizada neste trabalho.

Os tipos de pesquisa apresentam diferentes classificações dependendo do autor. No trabalho foi utilizada a classificação segundo a tipologia de Filippini (1997), também usada por Berto e Nakano (2000), dividida em sete categorias:

- Levantamento tipo *survey*: “uso de instrumento de coleta de dados único (em geral um questionário), aplicado a amostras de grande tamanho, com o uso de técnicas de amostragem e análise e inferência estatística”. Segundo Gil (2010), pode-se afirmar que *survey* é um tipo de pesquisa quantitativa, pois apresenta característica de abordagem direta das pessoas, no qual deseja conhecer. Basicamente, realiza-se o levantamento das informações de um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado, mediante análise quantitativa.
- Estudo de Caso: segundo Berto e Nakano (2012), “são outros métodos de pesquisa (principalmente de abordagem qualitativa) ou presença de dados de campo, sem estruturação formal do método de pesquisa.”. “O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetivos de análise” (MIGUEL *et al*, 2012, p.131).
- Modelagem (ou modelamento): “uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou de parte de um sistema produtivo.” Berto e Nakano (2012) afirmam que os modelos podem ser classificados em concretos ou abstratos.
- Simulação: Segundo MIGUEL (2012), o método de pesquisa da simulação é aquele que utiliza técnicas computacionais para simular o funcionamento de sistemas produtivos a partir de modelos matemáticos.

- Estudo de Campo: segundo Berto e Nakano (2000), “outros métodos de pesquisa (principalmente de abordagem qualitativa) ou presença de dados de campo, sem estruturação formal do método de pesquisa. ”
- Pesquisa experimental: “estudo da relação causal entre duas variáveis de um sistema sob condições controladas pelo pesquisador. ”
- Teórico/conceitual: “discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais. ”

Como os dados utilizados não são unicamente teóricos, não pode se classificar o método como teórico conceitual. Não são utilizadas neste trabalho ferramentas de simulação, modelagem para tentar descrever ou simular. O nível de complexidade deste trabalho permite que o estudo seja feito *in loco* sem a necessidade de criar simulações e assumir premissas.

O estudo de caso foi descartado pois de acordo com YIN (2005), a preferência pelo estudo de caso deve ser dada quando se deseja estudar eventos contemporâneos, em situações nas quais os comportamentos não podem ser manipulados.

Aspectos de conduta humana não podem ser observados em situações idealizadas em laboratório. Assim pode-se descartar também o método de estudo de campo e survey.

Portanto, o método mais adequado para este trabalho de acordo com as classificações discutidas, é o de pesquisa experimental. Segundo MOURA (2016), este tipo de pesquisa descreve e analisa o que acontece em situações e ambientes controlados pelo pesquisador. Exige instrumental específico, preciso e ambientes adequados. Pode ser realizado tanto em ambientes fechados quanto ao ar livre. A Figura 14 ilustra as etapas de uma pesquisa experimental.

FIGURA 14 - ETAPAS DE UMA PESQUISA EXPERIMENTAL



FONTE: Miguel (2012).

3.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO ESCOLHIDO

Segundo Gil (2005), cita como um dos pontos críticos da pesquisa experimental a manipulação experimental de dados, visto que variáveis tais como idade, sexo, características humanas, entre outras, são muito difíceis ou impossíveis de se analisar, dada a sua aleatoriedade. Este ponto levantado por Gil não interfere neste trabalho por não haver manipulações com estes tipos de dados.

De acordo com Yin (2005), um grande volume de dados pode levar os pesquisadores a coletarem em excesso, gerando informações irrelevantes. O trabalho em questão, buscou minimizar os pontos de coletas de dados para que não houvesse desperdício de tempo em análises e validações pouco eficazes.

Da mesma forma houveram limitações no que envolve a variável tempo, uma vez que se trata de uma pesquisa aprofundada e uma grande demanda de tempo para coleta e validação dos dados. Desta forma o devido cumprimento do cronograma, bem como a correta divisão das atividades entre os integrantes, teve papel fundamental para que fosse possível cumprir cada etapa.

Além disso Miguel (2012) cita que em pesquisas experimentais os resultados são influenciados pelos pesquisadores. Para superar essa limitação os equipamentos de

medição foram calibrados frequentemente de acordo com suas respectivas normas técnicas e os dados colhidos passados por uma validação.

Foi de extrema importância o aprofundamento do conhecimento em sistemas de refrigeração de ar dos integrantes, para que fosse possível determinar o que era relevante e os corretos pontos coleta de dados, de forma a realizar o experimento de forma mais eficientes.

3.3 VARIÁVEIS DA QUESTÃO DA PESQUISA

Para a análise do problema estudado é necessário determinar algumas variáveis que influenciam diretamente ou indiretamente no sistema. As consideradas neste trabalho foram:

- Temperatura do ambiente externo ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura do corredor em frente a sala ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura da sala de medição ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura da linha de Sucção ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura da linha de Líquido ($^{\circ}\text{C}$);
- Pressão diferencial da linha de Sucção (KPa);
- Pressão da linha de Líquido (KPa);
- Pressão da linha de Sucção (KPa);
- Corrente elétrica (A).

3.4 FONTES DE DADOS

3.4.1 Fontes de dados primários

Após o conhecimento do local onde foi realizado a pesquisa, foram selecionados quais dados seriam coletados e seus respectivos pontos. Miguel (2012) expõe que o uso de múltiplas fontes de dados e a interação com os construtos desenvolvidos a partir da literatura possibilitam que o pesquisador alcance maior validade construtiva da pesquisa.

Os dados primários, aqueles que são puros e encontrados na natureza, coletados *in loco* pelos pesquisadores foram: temperatura interna e externa da sala em estudo, vazão do líquido refrigerante no do sistema de refrigeração de ar e a corrente elétrica usada pelo equipamento de refrigeração de ar.

3.4.2 Fontes de dados secundários

As fontes de dados secundários segundo Mota (2011), são aqueles que representam o conjunto de dados pré-existent, ou seja, que já foram pesquisados em algum momento e estão disponíveis para servir de suporte para um novo trabalho de pesquisa. Eles foram acessados a partir das bases de dados disponíveis dos produtores de equipamentos de ar condicionados e bibliografias existentes sobre o assunto em estudo

Além destas fontes, a empresa HVAC Gerenciamento e Climatização LTDA, forneceu substancial apoio para obtenção de conceitos teóricos e práticos dos sistemas de refrigeração e aquecimento de ar.

3.5 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

O processo de coleta de dados dividiu-se em duas etapas, a primeira na literatura e a segunda na coleta de dados.

A pesquisa a bibliografias na internet e manuais técnicos teve como objetivo obter dados precisos sobre os equipamentos disponíveis para refrigeração, o exato funcionamento de cada um, trazendo vantagens e desvantagens, de modo que fosse possível a escolha de um equipamento que permitisse atender a ideia central do trabalho.

Busca em sites da internet teve como principal objetivo observar tecnologias e produtos já existentes e que poderiam auxiliar na elaboração e execução do experimento. A pesquisa possibilitou que fossem encontradas alternativas para serem implantadas no projeto ou então que pudesse servir de substituto.

Esta segunda etapa incluiu a validação "*in loco*" do sistema de medição dos registros, para garantia de qualidade dos mesmos. Os dados utilizados no trabalho foram

coletados pelos pesquisadores e técnicos do IMT. A coleta dos dados foi feita de modo remoto e automática, em intervalos de 1 minuto, via um sistema de rede LoraWan com antena omnidirecional acoplada a um *gateway* conectado à internet. Tal infraestrutura fornecida pelo Campus do IMT, permite-nos a conexão a um servidor onde os dados são armazenados na nuvem. Dados estes provenientes do *hardware* eletrônico de sensoriamento desenvolvido pelo próprio Centro de Pesquisas. É importante salientar que a coleta dos dados foi realizada durante o mês de novembro de 2018.

3.6 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS

Segundo Gil (2008), o objetivo da análise é sumarizar e organizar os dados proporcionando resposta ao problema estudado. Esta fase, posterior à pesquisa bibliográfica, é baseada na análise e interpretação dos dados. De acordo com Miguel (2012), nesta etapa é necessário reduzir os dados analisando somente o essencial e que apresenta relação com os objetivos.

Para tal, de início a partir dos dados coletados durante os experimentos, os conhecidos como *outliers* foram removidos. Pois estes ocorrem devido ao erro na coleta de dados ou eventos raros (CHWIF; MEDINA, 2015).

Em seguida, foram construídos diversos agregados de dados, permitindo a criação de hipóteses que, posteriormente, confirmadas com rigor técnico e conceitual. Este tratamento, por seu lado, procura utilizar parâmetros reconhecidos na literatura, de forma a qualificar os resultados obtidos e aumentar a confiabilidade das conclusões. Esses dados também foram comparados com os resultados teóricos simulados pelo *software* EES. Após isso foi possível verificar a viabilidade de medir a eficiência de um aparelho de ar condicionado do tipo *Split*.

No capítulo quatro, estes procedimentos são detalhados e suas conclusões apresentadas.

4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

4.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO

Objetivo dessa abordagem é a criação de um sistema supervisor de monitoramento remoto que permitirá a aquisição de dados coletados de forma objetiva e em tempo real de uma instalação de refrigeração do tipo Split.

A estrutura desse sistema é composta pelos seguintes materiais citados na tabela 2.

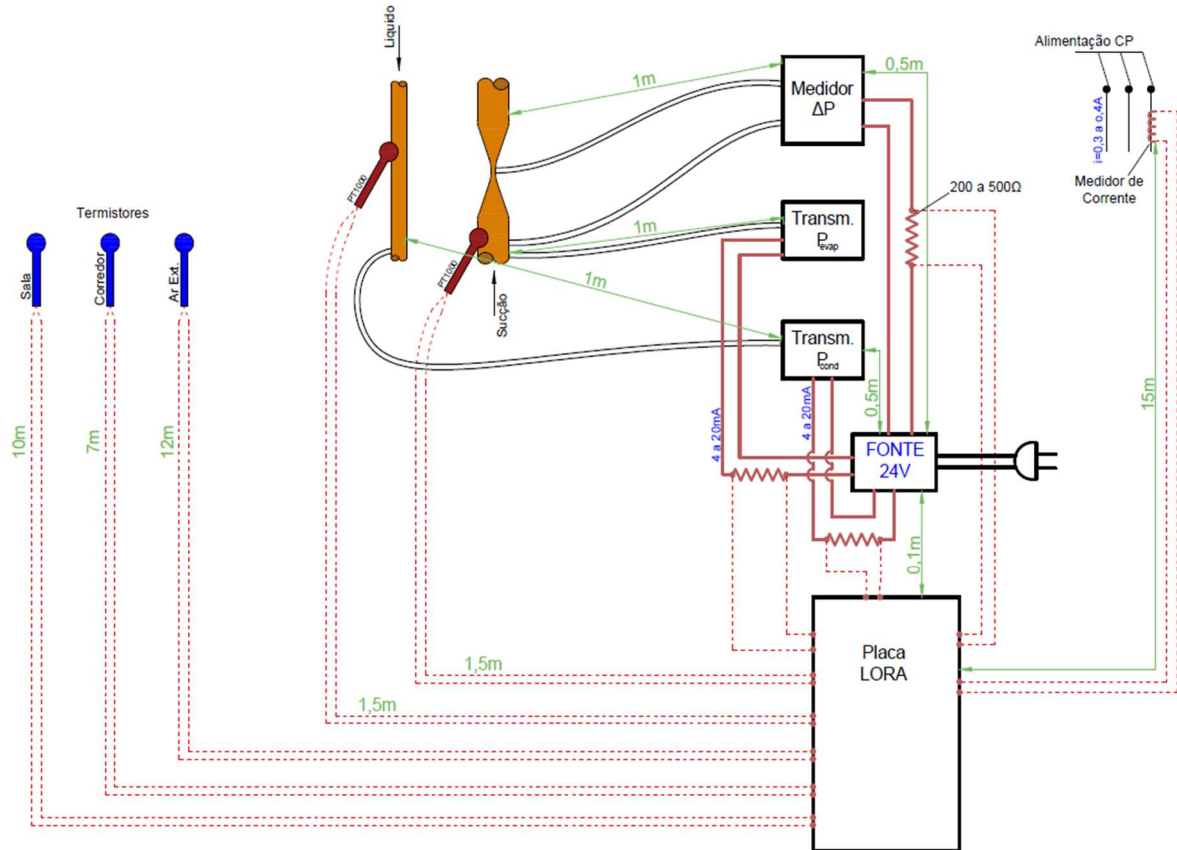
TABELA 2 – LISTA DE MATERIAIS

Quantidade	Material
3	Sensor Termistor
2	Sensor PT 100
1	Transdutor de pressão diferencial
2	Transdutor de pressão
1	Medidor de corrente
1	Fonte 24V
1	Cabo Manga
1	Placa LORA
1	Medidor de corrente
1	Tubo de Venturi

FONTE: Elaborado pelos autores

A estrutura desse sistema é composta por cinco diferentes tipos de sensores, uma placa Lora e uma Fonte de 24V. A disposição desses elementos está ilustrada conforme a figura 15.

FIGURA 15 – DIAGRAMA DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO



FONTE: Elaborado pelos autores.

Os sensores tipo PT 100 são responsáveis pela medição das temperaturas de escoamento das linhas de sucção e líquido do condicionador de ar. Os termistores são responsáveis pela medição das temperaturas da na sala do evaporador, corredor e temperatura externa.

Transdutor de pressão diferencial é utilizado para medição de vazão, onde podem medir a diferença de pressão através de um tubo Venturi e posteriormente calcular sua vazão mássica. O tubo de Venturi foi projetado e confeccionado nos laboratórios do Instituto Mauá de Tecnologia pelos integrantes deste trabalho e seu projeto dimensionado conforme o manual do ASME MFC-3M-1989 do The American Society of Mechanical Engineers de 1990, figura 16 e seu desenho técnico no apêndice A.

Para validação do mesmo, também foi simulado no software EES contendo os parâmetros do fabricante do modelo Split em estudo.

FIGURA 16 - TUBO VENTURI



FONTE: Os autores.

Os transdutores têm a função de medir as pressões de sucção na entrada do compressor e de descarga localizada na saída do mesmo.

O medidor de corrente é responsável pela medição da corrente elétrica utilizada para o funcionamento do condicionador de ar.

O funcionamento do sistema é baseado na aquisição de dados por parte destes sensores que estão ligados a uma fonte 24V e o *hardware* eletrônico (Placa Lora) desenvolvido pelo Instituto Mauá de Tecnologia. Esta placa recebe todos os dados enviados pelos sensores e se comunica com o *Gateway* do campus. O *gateway* por sua vez, encaminha esses dados para o *Network Server* da Mauá.

Essas informações serão retiradas do servidor da Mauá e processadas através do *software* ThinkSpeak de outro computador localizado em qualquer ambiente que seja conveniente ao grupo, desde que este possua acesso à internet.

Dentre os *softwares* para análise dos dados disponíveis no mercado, será utilizado neste projeto o ThinkSpeak. Este *software* é muito encontrado em sistemas de

monitoramento remoto devido a sua facilidade em operar, por possuir uma vasta gama de ferramentas e por disponibilizar uma conta gratuita.

4.2 INSTALAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

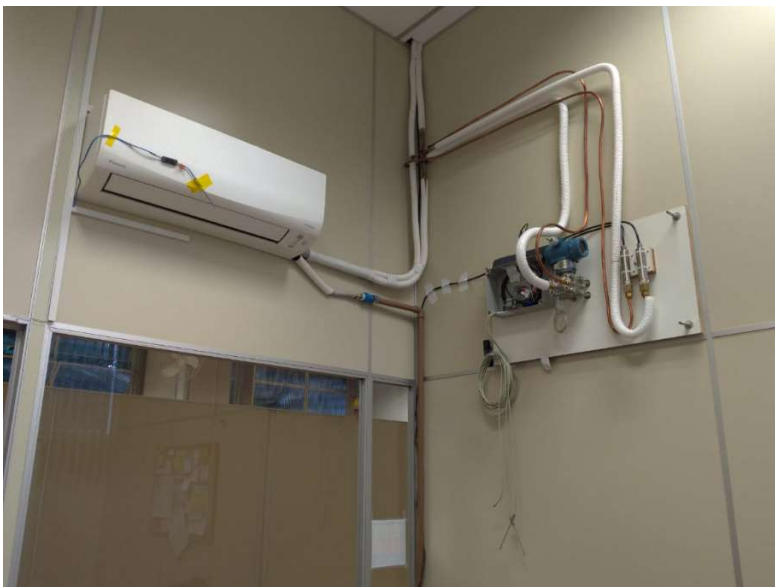
O protótipo foi construído junto com o Professor orientador e o funcionário Fernando do centro de pesquisa do campus. Para tal, foram disponibilizados alguns instrumentos pela Mauá sendo eles:

- 2 Transdutores de pressão
- 1 Transdutor de pressão diferencial
- 1 medidor de corrente
- Placa Lora

Os demais sensores foram comprados pelos integrantes do grupo e antes do início das instalações todos os sensores foram devidamente calibrados pela Mauá.

A primeira parte a ser construída foi a estrutura de madeira que acomoda todos os sensores de medição, figura 17. O segundo passo foi a adaptação dos sensores de temperaturas no sistema em estudo e a última atividade realizada foi a readaptação do circuito de refrigeração com os transdutores de pressão e tubo Venturi.

FIGURA 17 – INSTALAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO



FONTE: Os autores

Após instalação foi verificada a carga de fluido refrigerante, a regulação da válvula de expansão e as pressões manométricas das linhas. Nenhum inconveniente foi observado, de modo que o protótipo ficou pronto para o início dos testes.

FIGURA 18 – PRESSÃO DO GÁS REFRIGERANTE



FONTE: Os autores

4.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

4.3.1 Coleta de dados

Para obter os valores teóricos do sistema em estudo, foi utilizado como ferramenta o *software* EES, onde foi possível simular o COP do equipamento modelo desse trabalho e o tubo Venturi desenvolvido pelos autores.

Primeiramente foi simulado o tubo de Venturi para que tornasse possível a medição da pressão diferencial linha de sucção e definições de suas dimensões para sua confecção, apêndice B. Em sequência foi simulado o sistema em estudo, sala do professor orientador Marco Paiva, para o levantamento de dados teóricos e o valor do COP. Para o cenário simulado com uma temperatura externa de 32 graus e o equipamento operando para sala estar em 24 graus, foi levantado um COP de 4,448.

Com a finalização da programação pode-se modificar as variáveis de entrada, verificando seus efeitos nos parâmetros de saída. Com essa simulação também será possível simular outros cenários para estudos futuros, variando capacidade do equipamento, tipo do gás refrigerante e entre outros parâmetros.

Após a coleta de dados teóricos obtidos no *software* EES, foi dado início a coleta de dados utilizando o protótipo desenvolvido.

O equipamento de ar condicionado split utilizado para o ensaio foi um Daikin de 9.000 btus. O gás refrigerante utilizado para este equipamento em específico é um freon R32. As variáveis coletadas para este trabalho foram?

- Temperatura do ambiente externo ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura do corredor em frente a sala ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura da sala de medição ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura da linha de Sucção ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura da linha de Líquido ($^{\circ}\text{C}$);
- Pressão diferencial da linha de Sucção (KPa)
- Pressão na entrada do evaporador, chamada neste trabalho por P_{evap} (KPa)
- Pressão na entrada do condensador, chamada neste trabalho por P_{cond} (KPa)
- Corrente elétrica consumida pelo ar condicionado (A)

A coleta dos dados foi feita em um período de 5 dias corridos, iniciada no dia 1 de Dezembro de 2018 e finalizada no dia 5. A coleta aconteceu de forma remota e automática, em intervalos de 1 minuto, via um sistema de rede LoraWan com antena omnidirecional acoplada a um *gateway* conectado à internet. Portanto essa infraestrutura permitiu a conexão a um servidor onde os dados são armazenados na nuvem. O *hardware*, placa LoRa, utilizado para tal é um protótipo desenvolvido pelo centro de pesquisas do IMT.

Instantaneamente são coletados pelo *software online* Thinkspeak, onde os dados são agregados e permite aos usuários realizarem análises de acordo com suas necessidades de indicadores, figura 19.

FIGURA 19 - PLATAFORMA THINKSPEAK

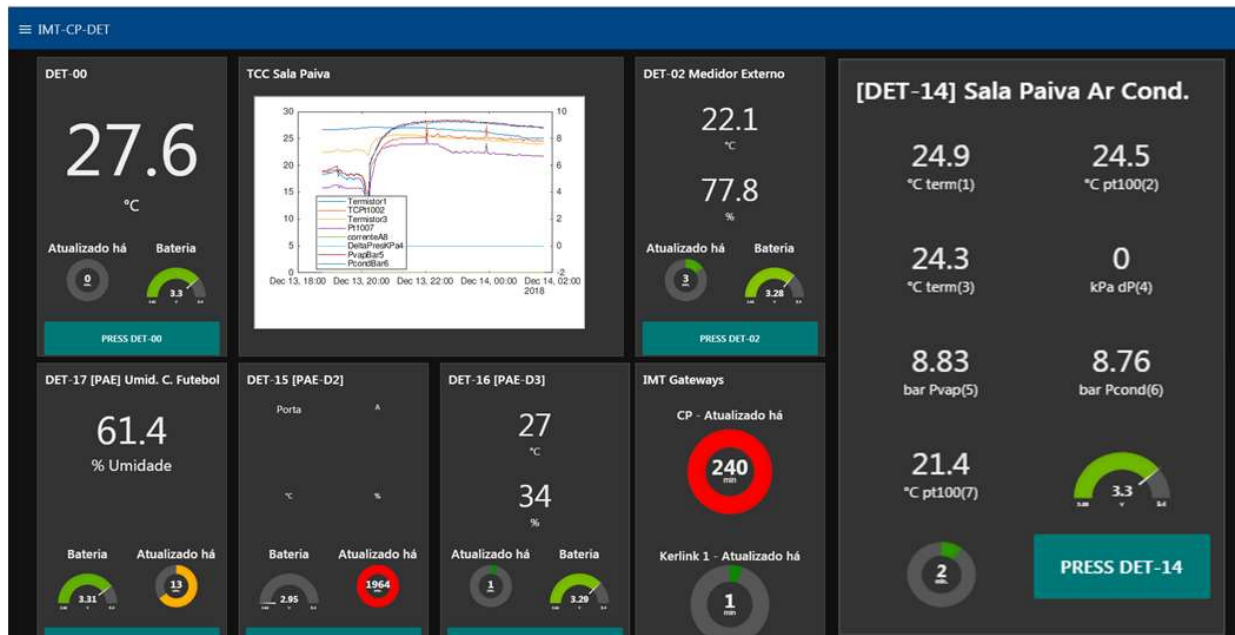


FONTE: Os autores

Vale salientar que a frequência de coleta foi estabelecida devido a uma restrição do Thinkspeak onde serão agregados os dados.

Tais dados coleado também podem ser visualizados em tempo real no dashboard do Smart Campus do IMT, figura 20.

FIGURA 20 - DASHBOARD DO SMART CAMPUS MAUÁ



Fonte: <http://smartcampus.maua.br/dash/>

4.3.2 Tratamento dos dados

A fim de validar os dados coletados após o período de 5 dias, os dados que foram agregados na plataforma *online* Thinkspeak foram exportados para uma planilha em Excel© com aproximadamente 4.800 linhas. Neste momento foram excluídos os *outliers* provenientes de erros nos medidores. Em sequencia comparando com os valores da simulação do *software* EES foi encontrado dados divergentes em alguns pontos de medição. Primeiramente foi notado que a coleta da corrente consumida pelo aparelho estava muito abaixo da corrente nominal especificada pelo fabricante e a medida pelo amperímetro direto no equipamento, figura 21.

FIGURA 21 – DIVERGÊNCIA NA MEDIÇÃO DA CORRENTE DO EQUIPAMENTO



FONTE: Os autores

O mesmo foi encontrado nas medições das pressões, com valores divergentes dos simulados pelo *Software* EES. Primeiramente procurou-se identificar defeitos nos equipamentos de medições e tanto para amperímetro quanto para os medidores de pressão não foi encontrado nenhum defeito.

Posteriormente verificou-se algum problema de calibração na conversão do sinal analógico para o digital na placa LoRa e foi identificado para todos os casos um erro técnico na conversão do sinal. Mediante isso, por se tratar de um erro técnico, pouca demanda de tempo e não afetando o cumprimento do objetivo deste trabalho, foi dada seqüência na pesquisa enquanto o funcionário do IMT realizava os ajustes.

4.4 Cálculo do Coeficiente de performance - COP

O Coeficiente de performance é o termo que representa a relação da energia térmica fornecida e a energia elétrica consumida pelo sistema, dado pela equação:

$$COP = \frac{ENERGIA\ UTIL}{ENERGIA\ GASTA} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{cp}}$$

Ou seja, quanto maior o COP mais eficiente é o equipamento.

4.4.1 Equação para a Transferência de calor no evaporador - \dot{Q}_{calc}

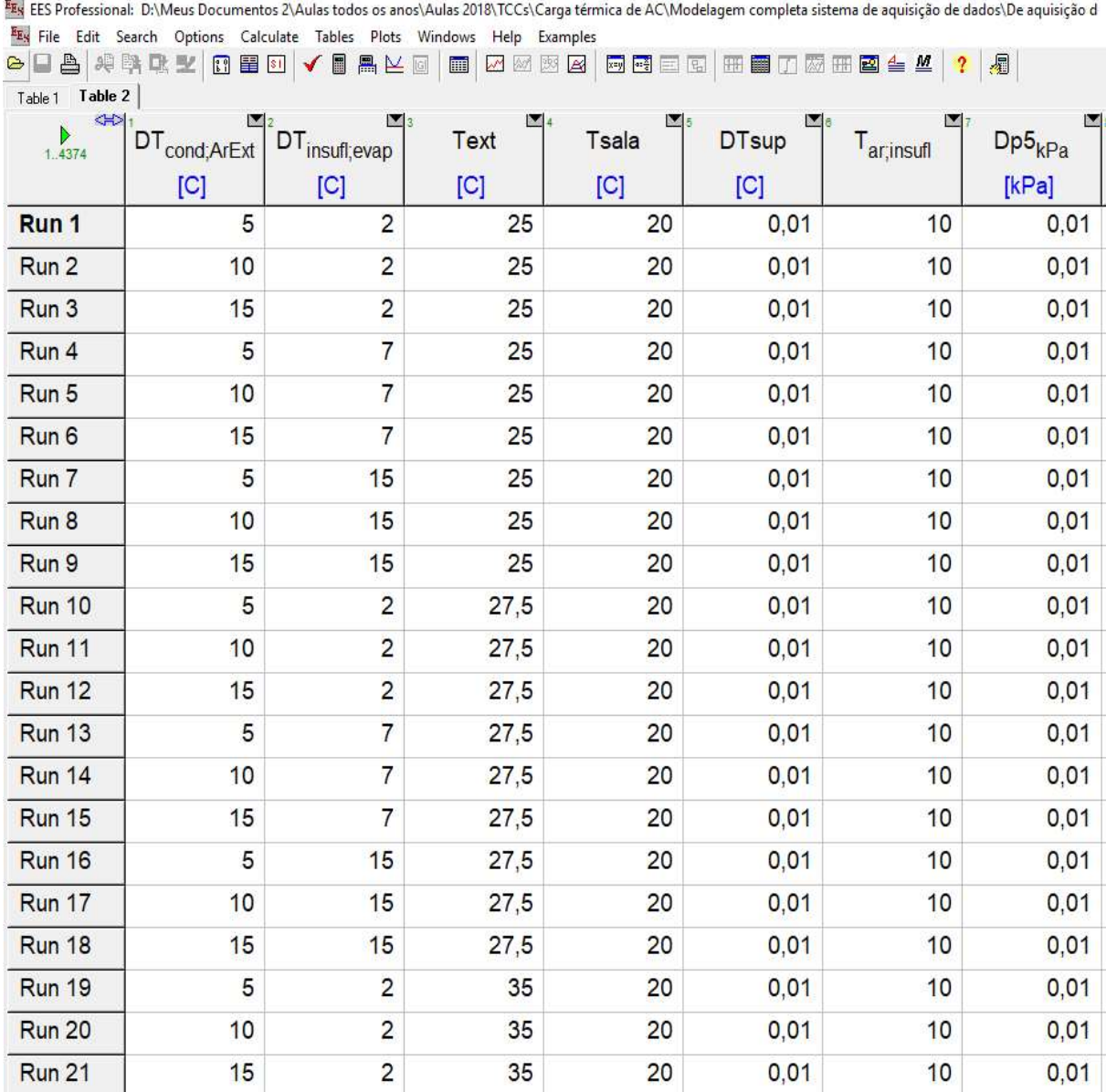
Para o cálculo da transferência de calor através dos dados coletados pelo protótipo, chamada neste trabalho por Q_{calc} , foi gerada uma equação que relaciona 4 das variáveis medidas. Sendo elas: Pressão diferencial, pressão na entrada do condensador (P_{cond}), pressão na entrada do evaporador (P_{evap}) e temperatura na entrada do Venturi ($T_{entr_venturi}$). A sequência para obtê-la será demonstrada no decorrer desse capítulo.

Inicialmente foi usada a simulação do apêndice B e C para simular os valores teóricos das variáveis medidas no protótipo e servir de base para o ajuste da equação do Q_{calc} . Para tal, foi definido um intervalo aceitável para cada dado de entrada da simulação e escolhido de 3 a 6 valores dentro desse intervalo para serem simulados no EES, sendo eles:

- DT_{cond_ArExt} : Variação de temperatura do ar externo, com intervalo de 5 a 15 e os valores adotados 5, 10 e 15;
- DT_{insufl_evap} : Variação de temperatura no insuflamento, com intervalo de 2 a 15 e os valores escolhidos foram 2, 7 e 15
- $Text$: Temperatura externa, com intervalo de 25 a 35 e os valores usados foram 25, 27,5 e 35;
- $Tsala$: Temperatura da Sala, com intervalo de 20 a 25 e os valores usados foram 20, 22,5 e 25;
- DT_{sup} : Variação de temperatura de superaquecimento, com intervalo de 25 a 35 e os valores usados foram 0,01, 3,5 e 7;
- $DT_{subresf}$: Variação de temperatura de sub resfriamento, com intervalo de 0,01 a 5 e os valores usados foram 0,01, 2,5 e 5;
- $T_{ar_insuflamento}$: Temperatura da insuflamento, com intervalo de 10 a 18 e os valores usados foram 10, 14 e 18;
- $Dp5_Kpa$: Diferencial de pressão, com intervalo de 25 a 35 e os valores usados foram 0,01, 3,5 e 7.

Definidos os intervalos foi gerado no Excel© todas as combinações possíveis entre esses valores, cerca de 39000 linhas, e exportados para o EES para simulação, conforme figura 22.

FIGURA 22 – LISTA DE SIMULAÇÃO NO EES

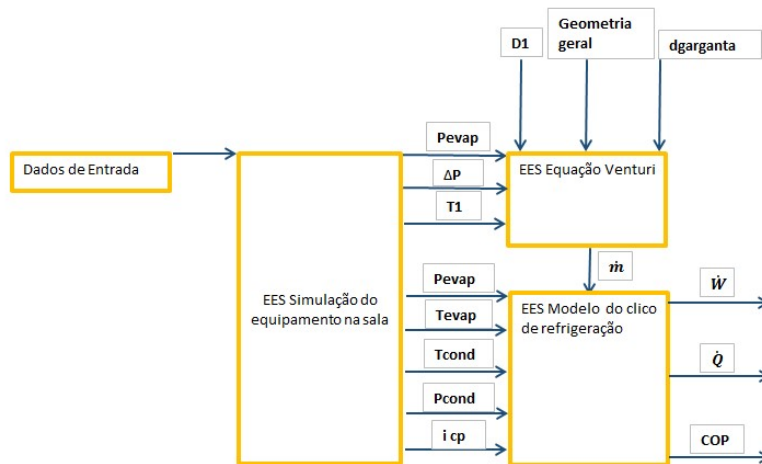


Run	DT _{cond;ArExt} [C]	DT _{insuff;evap} [C]	Text [C]	T _{sala} [C]	DT _{sup} [C]	T _{ar;insuff}	Dp ₅ [kPa]
Run 1	5	2	25	20	0,01	10	0,01
Run 2	10	2	25	20	0,01	10	0,01
Run 3	15	2	25	20	0,01	10	0,01
Run 4	5	7	25	20	0,01	10	0,01
Run 5	10	7	25	20	0,01	10	0,01
Run 6	15	7	25	20	0,01	10	0,01
Run 7	5	15	25	20	0,01	10	0,01
Run 8	10	15	25	20	0,01	10	0,01
Run 9	15	15	25	20	0,01	10	0,01
Run 10	5	2	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 11	10	2	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 12	15	2	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 13	5	7	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 14	10	7	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 15	15	7	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 16	5	15	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 17	10	15	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 18	15	15	27,5	20	0,01	10	0,01
Run 19	5	2	35	20	0,01	10	0,01
Run 20	10	2	35	20	0,01	10	0,01
Run 21	15	2	35	20	0,01	10	0,01

FONTE: Os autores

A simulação no EES ocorre de acordo com o diagrama da figura 23, simulando primeiro as condições do equipamento, em sequencia a vazão mássica pelo tubo venturi e por fim o ciclo de de refrigeração para obtenção do COP, \dot{W} e \dot{Q} .

FIGURA 23 – DIAGRAMA DA SIMULAÇÃO NO EES



FONTE: Os autores

Após a simulação das 39 mil combinações dos dados de entrada o *software* só conseguiu gerar 2700 condições de operações. Do qual foram exportados para o Excel© os dados de pressão de condensação, pressão de evaporação, temperatura de entrada no venturi, diferencial de pressão e Q_{evap}^{REAL} , conforme demonstrado na tabela 3.

TABELA 3 – EXEMPLO DOS RESULTADOS EXTRAIDOS DA SIMULAÇÃO DO EES

DP5 (KPa)	Pcondt (KPa)	Pevap (KPa)	Tentr_venturi C°	Qevap REAL (w)	Qevap REAL (BTU/h)
4	1928	1043	8,01	8120	27713
4	2190	1043	8,01	7810	26655
4	2478	1043	8,01	7489	25560
4	1928	894,2	3,01	7490	25563
4	2190	894,2	3,01	7203	24584
4	2478	894,2	3,01	6907	23573
4	1928	690,6	-4,99	6542	22328

FONTE: Os autores

Após obter os resultados teóricos de todos os cenários possíveis foi dado início a estruturação da equação de transferência Q_{calc} .

A equação do Q_{calc} foi estruturada com a correlação dois a dois das variáveis quadráticas, conforme demonstrado a baixo.

$$\begin{aligned}
Q_{calc} = & a_0 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4w + a_5xy + a_6x^2y + a_7y^2x + a_8y^2x^2 \\
& + a_9xz + a_{10}x^2z + a_{11}z^2x + a_{12}z^2x^2 + a_{13}xw + a_{14}x^2w \\
& + a_{15}w^2x + a_{16}w^2x^2 + a_{17}wy + a_{18}w^2y + a_{19}y^2w \\
& + a_{20}y^2w^2 + a_{21}wz + a_{22}w^2z + a_{23}z^2w + a_{24}z^2w^2 \\
& + a_{25}yz + a_{26}y^2z + a_{27}z^2y + a_{28}z^2y^2
\end{aligned} \tag{4}$$

Onde:

X = Diferencial de pressão (DP5)

Y = Pcond

Z = Pevap

W = Tentr_venturi

Para determinar o valor dos coeficientes “a_x” foi utilizado um suplemento do Excel© chamada solver. Utilizado encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula — conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células, chamadas de células variáveis, usadas no cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. Ele ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado que você deseja para a célula objetiva.

Para trabalho foi adotado as células variáveis sendo os coeficientes “a_x”, onde o solver busca a melhor combinação entres eles para otimizar a função objetivo. A função objetivo definida foi a minimização do erro percentual médio entre o $Q_{evapREAL}$ e o Q_{calc} , conforme demonstrado na equação abaixo:

$$\text{Erro Médio } Q \% = \frac{\sum \text{Erro } Q \%}{2754} \tag{5}$$

Onde $\text{Erro } Q \%$ é definido por

$$\text{Erro } Q \% = \frac{(Q_{REAL} - Q_{calc})}{(Q_{REAL} \times 100)} \tag{6}$$

Foi calculo o Q_{calc} , utilizando os mesmo valores gerados pela simulação do *Software* EES, para tornar possível a comparação com o $Q_{evapREAL}$. Todas as 2754 condições operacionais foram utilizadas nos cálculos. Após definida as células variáveis, a função objetivo e colocado o solver calcular, foi gerada a tabela 4, demonstrada abaixo.

TABELA 4 – TABELA PARA MINIMIZAÇÃO DO ERRO PERCENTUAL MÉDIO

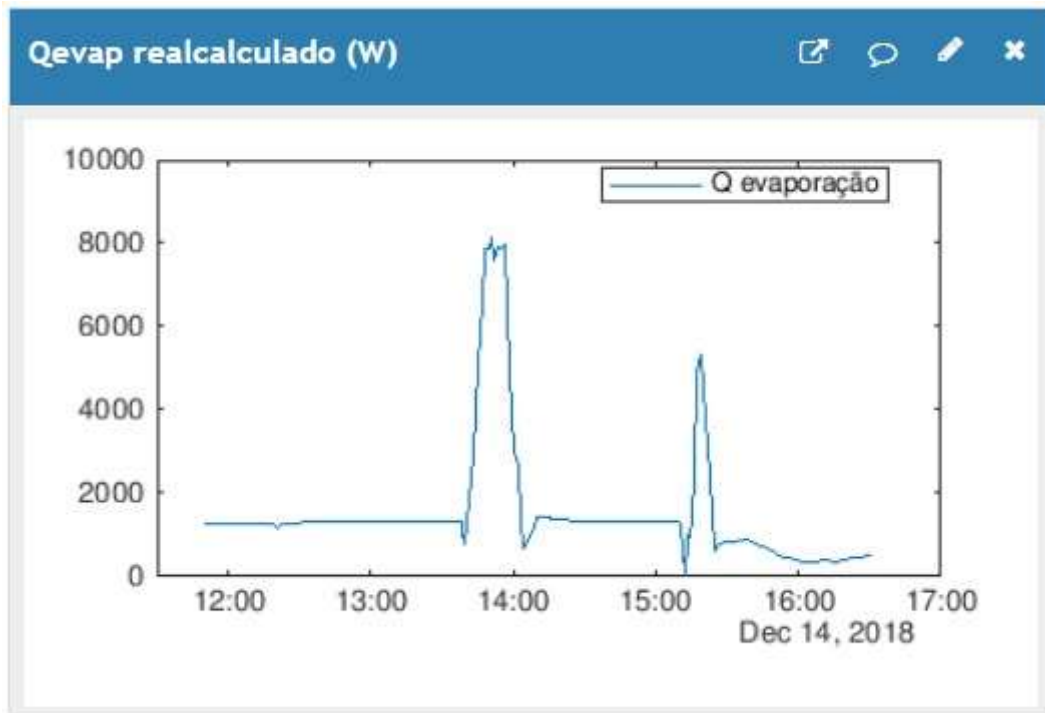
	DP5	Pcondt	Pevap	Tentr_venturi	Qevap REAL	Qcalc	ErroQ
	(KPa)	(KPa)	(KPa)	C°	(w)	(w)	(%)
1	4	1928	1043	8,01	8120	8109	0,133853
2	4	2190	1043	8,01	7810	7863	0,677941
3	4	2478	1043	8,01	7489	7572	1,111161
4	4	1928	894,2	3,01	7490	7458	0,432077
5	4	2190	894,2	3,01	7203	7233	0,416614
6	4	2478	894,2	3,01	6907	6965	0,837746
7	4	1928	690,6	-4,99	6542	6478	0,972723
...
2754	16	3141	894,2	10	12747	12717	0,238038
Somatória do erro % médio						0,4737	

FONTE: Os autores.

A melhor combinação entre as varias “ax” calculadas pelo Solver obteve um somatório do erro percentual de 0,47%, representando um erro muito baixo em relação a formula sugerida e a utilizada pelo EES. Por este motivo adotou-se esta como a formula utilizada para o calculo de transferência de calor. As células variáveis, ou seja, os coeficientes da equação do Q_{calc} utilizadas pelo solver foram as seguintes:

$$\begin{aligned}
 Q_{calc} = & 2199,5 + 865,9x + (-0,6284)y + 3,4356z + (-55,9692)w \\
 & + 0,2072xy + (-0,0267)x^2y + (-0,00005)y^2x \\
 & + 0,000005y^2x^2 \pm 0,6967xz + 0,0450x^2z + 0,0006z^2x \\
 & + (-0,00003)z^2x^2 + 2,5070xw + 0,0520x^2w \\
 & + (-0,1511)w^2x + 0,0033w^2x^2 + (-0,027)wy \\
 & + 0,0004w^2y + 0,000001y^2w + 0,000001y^2w^2 \\
 & + 0,3296wz + (-0,0002)w^2z + (-0,0022)z^2w \\
 & + 0,000001z^2w^2 + 0,000001yz + 0,000001y^2z \\
 & + 0,000001z^2y + 0,000001z^2y^2
 \end{aligned} \tag{7}$$

Após obter a equação foi necessário desenvolver um código na linguagem MATLAB, apêndice D, para que fosse possível o monitoramento em tempo real através da plataforma thinkspeak, demonstrado na figura 24.

FIGURA 24 – GRAFICO DO Q_{CALC} NA PLATAFORMA THINKSPEAK

FONTE: Os autores.

4.4.2 Cálculo do trabalho realizado pelo compressor - \dot{W}_{calc}

O cálculo do trabalho realizado pelo aparelho modelo foi realizado através da potência gerada, sendo a força exercida para realização do \dot{W}_{calc} . Dada pela equação:

$$\dot{W}_{calc} = U \times I \times \cos \varphi \quad (8)$$

Sendo:

U = Tensão do equipamento (V);

I = corrente consumida pelo aparelho (A);

Para o $\cos \varphi$ foi adotado um valor de 0,94, levando em consideração os dados históricos levantados pelo centro de pesquisa do IMT de equipamentos semelhantes ao em estudo. Segundo especificação do fabricante a tensão do equipamento é de 220V.

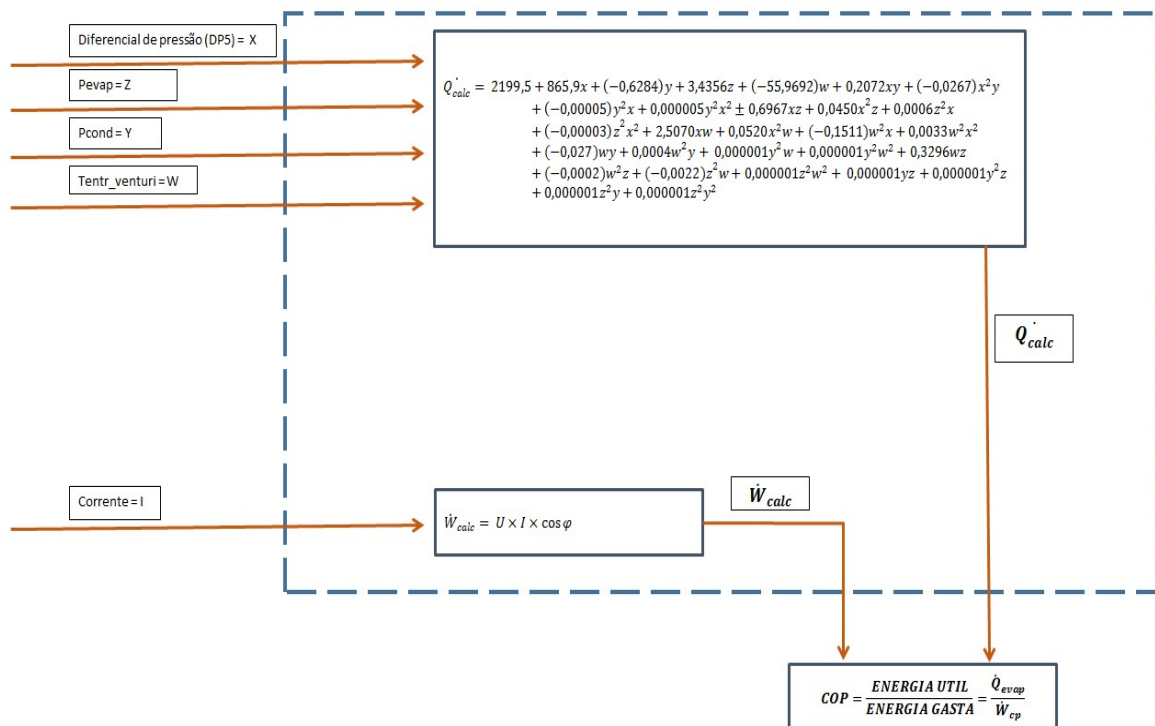
Utilizando a corrente medida na figura 21, temos um trabalho realizado de 90W, demonstrado na equação 9. Mesmo com a leitura incorreta da corrente feita pela placa foi demonstrado a viabilidade da medição do trabalho realizado pelo aparelho Daikin.

$$\dot{W}_{calc} = 220 \times 0,44 \times 0,94 = 90W \quad (8)$$

4.4.3 Medição do COP

Com a obtenção dados coletados pelo protótipo é possível mensurar a transferência de calor e trabalho realizado pelo equipamento, tornando-se possível a medição do coeficiente de performance, conforme ilustrado pelo diagrama da figura 25.

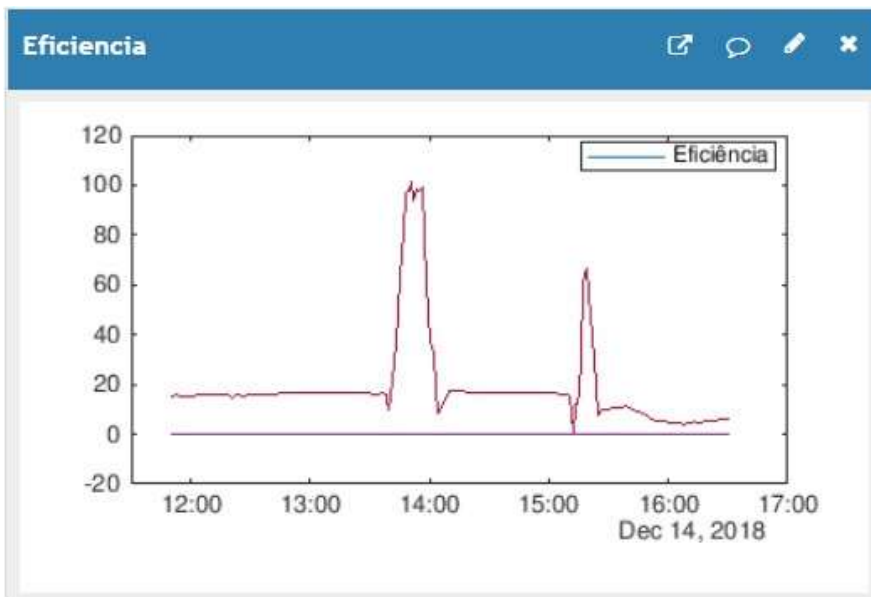
FIGURA 25 – FLUXOGRAMA PARA MEDIÇÃO DO COP



FONTE: Os autores.

Com o objetivo de se monitorar o COP do equipamento essa fórmula foi inserida na plataforma Thinkspeak, onde instantaneamente puxa os dados necessários do server da Mauá e aplica o código do apêndice E, exibindo na tela o gráfico de performance do equipamento em tempo real, demonstrado na figura 26.

FIGURA 26 - MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA NO THINKSPEAK



FONTE: Os autores.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou analisar de forma sintética a viabilidade de medir a eficiência de um aparelho de ar condicionado do tipo Split à um baixo e sua importância de monitoramento. Em busca desse objetivo, uma pesquisa experimental foi proposta e executada em tempo hábil, podendo assim gerar resultados que comprovem a viabilidade do monitoramento.

A realização deste trabalho foi um desafio muito gratificante, onde foi possível empregar os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia de Produção. Temas como engenharia de *software*, banco de dados, sistemas operacionais e IoT puderam ser vistos de forma prática, ajudando a ampliar estes conhecimentos.

A construção do sistema de medição proposto já se demonstrou uma tarefa bastante desafiadora, no entanto, ela não seria suficiente caso não fosse executado em um tempo hábil. Na prática, foram observados resultados bastante satisfatórios, que condizem com a teoria abordada e isso é algo muito importante, principalmente em se tratando de um equipamento para uso acadêmico. Para tal, foi dispensado um esforço bastante grande, sempre buscando o equilíbrio entre conceito, equipamento, instrumentação, controle e custo.

A rede LoRa teve um papel importante na supervisão do sistema em estudo, coletando e tornando disponíveis os dados do processo. O acesso remoto aos dados facilita tanto o monitoramento quanto o controle do processo, fornecendo, em tempo útil, o atual estado do sistema por meio de gráficos, relatórios ou previsão, viabilizando tomadas de decisões seja de forma automática ou com interferência do operador.

As necessidades e expectativas da pesquisa foram atendidas, ou seja, foi possível monitorar um aparelho de ar condicionado do tipo Split com o uso da tecnologia LoraWAN. Algumas revisões devem ser feitas sobre os componentes utilizados para haver um menor custo e torna-lo um produto vendável.

Com o aumento da necessidade de reduzir custos e aumentar a eficiência nas empresas para sobreviver as constantes mudanças do mercado é preciso que o processo de monitoramento seja feito de forma moderna e automatizada, para que

seja possível tirar o maior proveito dessa atividade. Listados alguns benefícios que podem ser tirados do monitoramento do presente trabalho.

- Redução dos custos de manutenção
- Redução de falhas nas máquinas
- Redução do tempo de parada para reparo
- Aumento da vida útil de peças
- Aumento da Eficiência
- Aumento do lucro Global

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros se recomenda análise em outros tipos de aparelhos e sistemas de climatização.

Em relação à continuidade deste trabalho, sugere-se um estudo da viabilidade econômica para o desenvolvimento e comercialização de um *software* de monitoramento em tempo real para tomada de decisões em grandes empreendimentos. Também se sugere uma análise de mercado, com o intuito de entender mais a fundo as características dos consumidores e necessidades.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Energia no Brasil e no mundo: Consumo**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf > Acesso em 15 mai. 2018.

ANTONOVICZ, Diego; WEBER, Rhuann Georgio Bueno. **PMOC - Plano de Manutenção Operação e Controle - nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. TCC – Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2013. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1380/1/MD_COMIN_2012_2_10.pdf.> Acesso em mai. 2018.

ABINC. **RELATÓRIO DO GRUPO DE TRABALHO ABINC DE TECNOLOGIAS LPWAN. [S.I.]**, 2016.

AYRES, M.; SALES, H. **Internet das Coisas e Mobile Marketing: limites e possibilidades**. Publicidade Digital: formatos e tendências da nova fronteira publicitária, Bahia, n.1, 2010.

BOR, M. C. **Do LoRa low-power wide-area networks scale?** Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems - MSWiM. ACM Press, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145=2988287:2989163>>. Acesso em 15 jun. 2018.

BUSNELLO, S. J; RAMOS, P.; RAMOS, M. M. **Manual prático de metodologia da pesquisa**: artigo, resenha, projeto, TCC, monografia, dissertação e tese. 2005

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas e Prediais**. 14. ed. Érica. São Paulo, 2004.

CARRIER DO BRASIL. **Produtos**. Disponível em: < <http://www.carriero brasil.com.br>> Acesso em 16 jun. 2018.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15. ed. LTC. Rio de Janeiro, 2007.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.

DANFOSS. **Eliminação do R22**. Disponível em: <http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com.br/refrigerants/r22/#/>> Acesso em: 27 Jun 2018

DELMÉE, G. J. **Manual de Medição de Vazão**. 2. ed. [S.I.]: Edgard Blücher, 1995.

ESTADÃO. **Governo quer ar-condicionado mais eficiente e a partir de 2018**. São Paulo, 2017. Disponível em: < <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,governo-quer-ar-condicionado-mais-eficiente,7000204630> > Acesso em 15 de mai. 2018.

FILIPPINI, R. **Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies**. *International journal of Operations and Production Management*, v. 17, n. 7, p. 655-70, 1997.

FLUXO CONSULTORIA. **O que é “Internet das Coisas” e como ela funciona?** Disponível em: < <http://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/tecnologia-informacao/automacao-residencial/> > Acesso em: 17 jun 2018

FONTELLES, M. J. *et al.* **Metodologia de pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**. Núcleo de Bioestatística Aplicado à pesquisa da Universidade da Amazônia – UNAMA, 2009. Disponível em: <<http://files.bvs.br/upload/S/0101-5907/2009/v23n3/a1967.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018

GARDEL, Tito. **Autenticação e Autorização para Acesso a aplicações em um Barramento de Serviços para a Web das Coisas**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, Luciene Pavanello. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2005. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-36.pdf>. Acesso em 09 jun. 2018.

GUIMARÃES, Luiz Gustavo Monteiro. **Modelagem e construção de um protótipo de refrigeração por absorção de vapor de baixa potência operando com água-brometo de lítio e utilizando fontes térmicas de baixa pressão**. São João Del Rei, 2011. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica.

IBARS, R. A. F. **Desenvolvimento e avaliação de tubos de Venturi para medição de vazão**. Universidade de São Paulo, 2004.

JUNIOR, T. de J. P. **Internet das Coisas e sua evolução tecnológica para as Cidades Inteligentes**. Santa Rita do Sapucaí, 2016.

LORA ALLIANCE. **Qual é a especificação LoRaWAN™?** Nova Iorque, 2017. Disponível em: < <https://lora-alliance.org/about-lorawan/> > Acesso em 15 jun. 2018.

MIGUEL, P. A. C *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; MUSON, B.R.; DEWITT, D. P. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2005. 563 p.

RECCO, Abel André C. **Instrumentos de Medidas Elétricas** Joinville 2015. Disponível em: <
http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/abel/materiais/Medidas_eletricas.pdf
 > Acesso em 13 jun. 2018.

RODRIGUES, Zélia Medeiros. **O Planejamento Estratégico como Indicador da Controladoria Aplicado à Gestão de uma Microempresa do ramo de ar condicionado**. Fortaleza: Faculdade Lourenço Filho, 2010. Disponível em:
<http://www.flf.edu.br/revista-flf/monografias-contabeis/monografia-zelia-medeiros.pdf>. Acesso em out.2014. Acesso em 11 jun. 2018.

SALGUERO, Amanda Viana. **Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz/Escola Politécnica De Saúde Joaquim Venâncio, 2006. Disponível em: <
<http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/monografia/49.pdf> > Acesso em 07 jun. 2018.

Santo, Bruno P. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Belo Horizonte 2017 Disponível em: < <http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf> > Acesso em 10 jun. 2018.

SEMTECH. **What is LoRa?**. São Paulo 2018. Disponível em<
<https://www.semtech.com/technology/lorawhat-is-lora>> Acesso em 08 jun. 2018.

SOARES, Sérgio. **Treinamento Linha Residencial: Pós Vendas**. Apostila de Programa de Capacitação Profissional Midea Carrier, Porto Alegre, 2014.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME MFC-3M-1989 Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle, and Venturi**. New York, 1990.

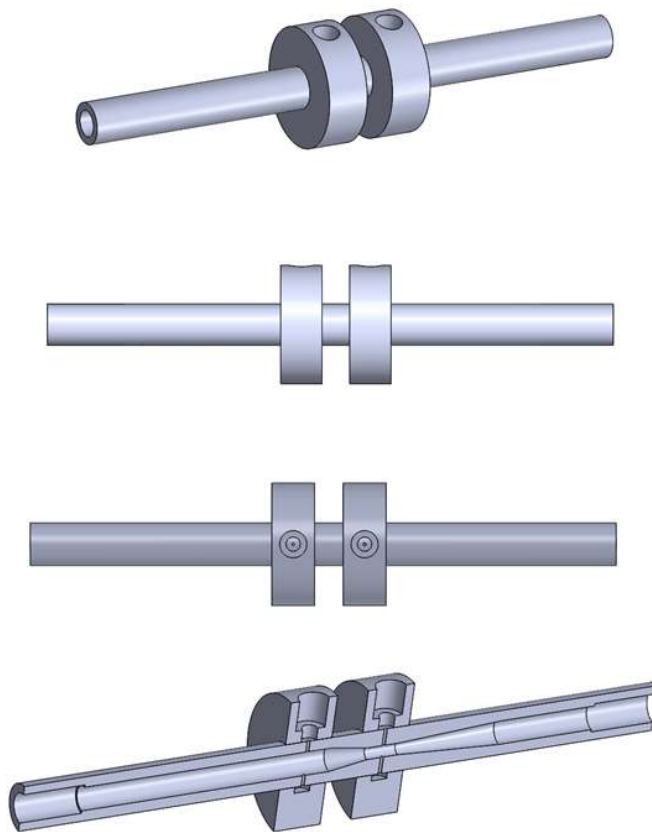
TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Mercado de Sistemas de Ar Condicionado**. 2016 Disponível em<
<https://www.transparencymarketresearch.com/air-conditioning-systems-market.html> > Acesso em 16 de jun. 2018.

VALENTE, Bruno Alexandre Loureiro. **Um middleware para a Internet das coisas**. Lisboa 2011. Disponível em<
http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/9211/1/ulfc104490_tm_Bruno_Valente.pdf > Acesso em 10 jun. 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DO TUBO VENTURI

FIGURA 27 - DESENHO TÉCNICO DO TUBO VENTURI



FONTE: Elaborado pelos autores.

APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO TUBO VENTURI NO SOFTWARE EES

"NOMENCLATURA:

1 - seção de entrada;

g - garganta

2 - seção de saída"

"DADOS"

$D1 = 8,04e-3$ [m]

$m_{\dot{}} = 0,011$ [kg/s]

$P1_{\text{kPa}} = 922,5$ [kPa]

$T1 = 9$ [C]

$d_g = 4,01e-3$ [m]

{Beta = 0,5 " $d_g/D1$ "}

$P1_{\text{Pa}} = P1_{\text{kPa}} * 1000$ "Resulta $P1_{\text{Pa}}=922500$ [kPa]"

Fluido\$ = 'R32'

"RESOLUÇÃO"

"=== Na seção de entrada"

$Rho_1 = \text{DENSITY} (R32; T=T1; P=P1_{\text{kPa}})$ "Resulta $Rho_1=24,24$ [kg/m³]"

$Mu_1 = \text{VISCOSITY} (R32; T=T1; P=P1_{\text{kPa}})$ "Resulta $Mu_1=0,00001184$ [Pa.s]"

$s1 = \text{ENTROPY} (R32; T=T1; P=P1_{\text{kPa}})$ "Resulta $s1=2,162$ [kJ/kg-K]"

$Cp1 = \text{CP} (R32; T=T1; P=P1_{\text{kPa}})$ "Resulta $Cp1=1,218$ [kJ/kg-K]"

$Cv1 = \text{CV} (R32; T=T1; P=P1_{\text{kPa}})$ "Resulta $Cv1=0,8333$ [kJ/kg-K]"

$k = Cp1/Cv1$ "Resulta $k=1,461$ "

$A1 = \text{Pi} * D1^2 / 4$ "Resulta $A1=0,00004927$ [m²]"

$Vel_1 * A1 * Rho_1 = m_{\dot{}}$ "Resulta $Vel_1=9,211$ [m/s]"

$Rey_1 = Vel_1 * D1 * Rho_1 / Mu_1$ "Resulta $Rey_1=1,493E+05$ [-]"

Beta = d_g/D1 "Resulta d_g=0,00396 [m]"

m_dot = Epsi* (Pi/4)*d_g^2*((2*Dp_Pa*Rho_1)/(1-Beta^4))^0,5 "Resulta
Dp_Pa=15580 [Pa]"

Vsom1 = SoundSpeed(R32;T=T1;P=P1_kPa) "Resulta Vsom1=213,8 [m/s]"

Mach_1 = Vel_1/Vsom1 "Resulta Mach_1=0,04308 "

Epsi = 1 - (0,41+0,35*Beta^4)*Dp_Pa/(k*P1_Pa) "Resulta Epsi=0,995 "

V_dot_1 = Vel_1 * A1 "Resulta V_dot_1=0,0004538 [m^3/s]"

V_dot_1_L_min = V_dot_1 * 1000 * 60 "Resulta V_dot_1_L_min=27,23 [L/min]"

Dp_kPa = Dp_Pa/1000 "Resulta Dp_kPa=15,58 [kPa]"

Dp_barr = Dp_kPa/100 "Resulta Dp_barr=0,1558 [bar]"

Dp_mmca = Dp_kPa * 100 "Resulta Dp_mmca=1558 [mmca]"

Dp_ppsi = Dp_barr * 15 "Resulta Dp_ppsi=2,337 [psi]"

"=== Avaliando se Beta influencia Dp"

m_dot5 = m_dot/5

m_dot5 = (Pi/4)*d_g^2*((2*Dp5_Pa*Rho_1)/(1-Beta^4))^0,5

Dp5_kPa = Dp5_Pa/1000

Dp5_mmca = Dp5_kPa * 100

Dp5\Dp = Dp5_Pa / Dp_Pa

"---> Beta não influencia Dp; ou seja, qualquer que seja beta, a distância do fundo de escala em qualquer faixa de vazão é a mesma; não se preocupar na escolha de beta para a seleção do transdutor de pressão"

"=== Na garganta"

sg = s1

Pg_kPa = P1_kPa - Dp_kPa "Resulta Pg_kPa=906,9 [kPa]"

$A_g = \pi \cdot d_g^2 / 4$ "Resulta $A_g=0,00001232$ [m²]"
 $\rho_g = \text{DENSITY}(R32; P=P_g \text{ kPa}; s=sg)$ "Resulta $\rho_g=23,9$ [kg/m³]"
 $Vel_g \cdot A_g \cdot \rho_g = \dot{m}$ "Resulta $Vel_g=37,37$ [m/s]"
 $V_{som_g} = \text{SoundSpeed}(R32; P=P_g \text{ kPa}; s=sg)$ "Resulta $Mach_g=0,175$ "
 $Mach_g = Vel_g / V_{som_g}$

"=====

"DADOS PARA DIMENSÕES GEOMÉTRICAS"

$\alpha_{1_bocal} = 20/2$ [graus]

$\alpha_{2_dif} = 7/2$ [graus]

"=== Medidas geométricas"

$\tan(\alpha_{1_bocal}) = (D1 - d_g) / (2 \cdot L_{conv})$ "Resulta $L_{conv}=0,01123$ [m]"

$\tan(\alpha_{2_dif}) = (D1 - d_g) / (2 \cdot L_{dif})$ "Resulta $L_{dif}=0,03237$ [m]"

$z_{man_e_max} = D1/2$ "Resulta $z_{man_e_max}=0,00396$ [m]"

$L_{garg_min} = d_g/3$ "Resulta $L_{garg_min}=0,00132$ [m]"

$L1_{ent_min} = D1$ "Resulta $L1_{ent_min}=0,00792$ [m]"

$y_{man_g_min} = d_g/6$ "Resulta $y_{man_g_min}=0,00066$ [m]"

APÊNDICE C - SIMULAÇÃO DO COP NA SALA DE TESTE NO SOFTWARE EES

"Modelo de split da sala do Paiva"

"DADOS"

$Q_{\text{dot_evap_Btu}} = 9000$ [Btu/h]

$T_{\text{ext}} = 32$ [C]

$T_{\text{sala}} = 24$ [C]

$DT_{\text{sup}} = 5$ [C]

$DT_{\text{subresf}} = 3$ [C]

$T_{\text{sala_s}} = T_{\text{sala}} - 10$ "Resulta $T_{\text{sala_s}}=14$ [C]"

$T_{\text{sala_e}} = T_{\text{sala}}$ "Resulta $T_{\text{sala_e}}=24$ [C]"

$T_{\text{cond}} = T_{\text{ext}} + 15$ "Resulta $T_{\text{cond}}=47$ [C]"

$T_{\text{evap}} = T_{\text{sala_s}} - 10$ "Resulta $T_{\text{evap}}=4$ [C]"

$T_1 = T_{\text{evap}} + DT_{\text{sup}}$ "Resulta $T_1=9$ [C]"

$T_4 = T_{\text{evap}}$

$Q_{\text{dot_evap}} = Q_{\text{dot_evap_Btu}} * (3500/12000)$ [W] "Resulta $Q_{\text{dot_evap}}=2625$ [W]"

$\text{Eta}_{\text{cp}} = 0,9$

$P_{\text{evap}} = P_{\text{sat}}(\text{R32}; T=T_{\text{evap}})$ "Resulta $P_{\text{evap}}=922,5$ [kPa]"

$P_{\text{cond}} = P_{\text{sat}}(\text{R32}; T=T_{\text{cond}})$ "Resulta $P_{\text{cond}}=2929$ [kPa]"

$T_3 = T_{\text{cond}} - DT_{\text{subresf}}$

$P_1 = P_{\text{evap}}$

$P_2 = P_{\text{cond}}$

$P_3 = P_{\text{cond}}$

$P_4 = P_{\text{evap}}$

$D_1 = 8e-3$ [m]

"RESOLUÇÃO"

$h_1 = \text{ENTHALPY}(\text{R32}; P=P_1; T=T_1)$ "Resulta $h_1=522,2$ [kJ/kg]"

$v_1 = \text{VOLUME}(\text{R32}; P=P_1; T=T_1)$ "Resulta $v_1=0,04125$ [m³/kg]"

$\text{Rho}_1 = \text{DENSITY}(\text{R32}; P=P_1; T=T_1)$ "Resulta $\text{Rho}_1=24,24$ [kg/m³]"

$s_1 = \text{ENTROPY} (\text{R32}; P=P_1; T=T_1)$ "Resulta $s_1=2,162$ [kJ/kg-K]"
 $s_{2\text{iso}} = s_1$
 $h_{2\text{iso}} = \text{ENTHALPY} (\text{R32}; P=P_2; s=s_{2\text{iso}})$ "Resulta $h_{2\text{iso}}=570,5$ [kJ/kg]"
 $\text{Eta}_{\text{cp}} = (h_{2\text{iso}} - h_1)/(h_2 - h_1)$ "Resulta $h_2=575,8$ [kJ/kg]"
 $h_3 = \text{ENTHALPY} (\text{R32}; P=P_3; T=T_3)$ "Resulta $h_3=283,9$ [kJ/kg]"
 $h_4 = h_3$ "Resulta $h_4=283,9$ [kJ/kg]"
 $Q_{\text{dot_evap}}/1000 = m_{\text{dot_ref}} * (h_1 - h_4)$ "Resulta $m_{\text{dot_ref}}=0,01101$ [kg/s]"
 $W_{\text{dot_cp}}/1000 = m_{\text{dot_ref}} * (h_2 - h_1)$ "Resulta $W_{\text{dot_cp}}=590,1$ [W]"
 $\text{COP} = Q_{\text{dot_evap}}/W_{\text{dot_cp}}$ "Resulta $\text{COP}=4,448$ [-]"
 $V_{\text{dot_1}} = m_{\text{dot_ref}}/\text{Rho}_1$ "Resulta $V_{\text{dot_1}}=0,0004543$ [m³/s]"
 $A_1 = \text{Pi} * D_1^2 / 4$ "Resulta $A_1=0,00005027$ [m²]"
 $V_{\text{dot_1}} = \text{Vel}_1 * A_1$ "Resulta $\text{Vel}_1=9,038$ [m/s]"

APÊNDICE D – CODIGO MATLAB PARA EXIBIÇÃO DO GRAFICO Q_{CALC}

```
readChannelID = 638217;
readAPIKey = 'B6XMFL3KSAXQNC9Y';
writeAPIKey = '7N8IWIN9TXD72B2U';
data = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', [4 5 6 7], 'NumPoints', 200,
'ReadKey', readAPIKey,'outputFormat','timetable');
TT = synchronize(data,'union','linear');

x.DP5= TT.DeltaPresKPa4;
y.Pcond= TT.PcondBar6;
z.Pevap= TT.PvapBar5;
w.Tentr_venturi= TT.TCpt1007;

a0 = 2199.52275186536;
a1 = 865.916999001089;
a2 = 0.628449756602853;
a3 = 3.43566601240296;
a4 = -55.9692127987489;
a5 = 0.207164917872206;
a6 = -0.0267716923752839;
a7 = -0.0000558559407709166;
a8 = 0.00000518670580959999;
a9 = -0.696729706495707;
a10 = 0.0450031160584112;
a11 = 0.000587426357284864;
a12 = -0.000027802388768704;
a13 = 2.50701158108596;
a14 = 0.0520017942179553;
a15 = -0.151132806309274;
a16 = 0.00337706106563966;
```

```

a17 = 0.0000000000000115;
a18 = 0.000000000000124;
a19 = 0.000000000000147;
a20 = 0.0000000000000019;
a21 = -0.0270367044195315;
a22 = 0.0000024155224874882;
a23 = 0.000437684502661576;
a24 = -0.0000000923020718158269;
a25 = 0.329657649165989;
a26 = -0.000258034859452066;
a27 = -0.00225119143997698;
a28 = 0.00000376877781867333;

```

```

EFICIENCIA = a0 + a1 .* x.DP5 + a2 .* y.Pcond + a3 .* z.Pevap + a4 .*
w.Tentr_venturi + a5 .* x.DP5 .* y.Pcond + a6 .* x.DP5 .* x.DP5 .* y.Pcond + a7 .*
x.DP5 .* y.Pcond .* y.Pcond + a8 .* x.DP5 .* x.DP5 .* y.Pcond .* y.Pcond + a9 .*
x.DP5 .* z.Pevap + a10 .* x.DP5 .* x.DP5 .* z.Pevap + a11 .* x.DP5 .* z.Pevap .*
z.Pevap + a12 .* x.DP5 .* x.DP5 .* z.Pevap .* z.Pevap + a13 .* x.DP5 .*
w.Tentr_venturi + a14 .* x.DP5 .* x.DP5 .* w.Tentr_venturi + a15 .* x.DP5 .*
w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a16 .* x.DP5 .* x.DP5 .* w.Tentr_venturi .*
w.Tentr_venturi + a17 .* y.Pcond .* z.Pevap + a18 .* y.Pcond .* y.Pcond .* z.Pevap +
a19 .* y.Pcond .* z.Pevap .* z.Pevap + a20 .* y.Pcond .* y.Pcond .* z.Pevap .*
z.Pevap + a21 .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi + a22 .* y.Pcond .* y.Pcond .*
w.Tentr_venturi + a23 .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a24 .*
y.Pcond .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a25 .* z.Pevap .*
w.Tentr_venturi + a26 .* z.Pevap .* z.Pevap .* w.Tentr_venturi + a27 .* z.Pevap .*
w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a28 .* z.Pevap .* z.Pevap .* w.Tentr_venturi .*
w.Tentr_venturi

```

```

plot(TT.Timestamps,[EFICIENCIA]);
a=legend('Q evaporação','Location','best')

```

APÊNDICE E – CODIGO MATLAB PARA EXIBIÇÃO DO GRAFICO DO COP

```
readChannelID = 638217;
readAPIKey = 'B6XMFL3KSAXQNC9Y';
writeAPIKey = '7N8IWIN9TXD72B2U';
data = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', [4 5 6 7 8], 'NumPoints', 200,
'ReadKey', readAPIKey,'outputFormat','timetable');
TT = synchronize(data,'union','linear');
x.DP5= TT.DeltaPresKPa4;
y.Pcond= TT.PcondBar6;
z.Pevap= TT.PvapBar5;
w.Tentr_venturi= TT.TCPT1007;
corrente = TT.correnteA8;
a0 = 2199.52275186536;
a1 = 865.916999001089;
a2 = 0.628449756602853;
a3 = 3.43566601240296;
a4 = -55.9692127987489;
a5 = 0.207164917872206;
a6 = -0.0267716923752839;
a7 = -0.0000558559407709166;
a8 = 0.00000518670580959999;
a9 = -0.696729706495707;
a10 = 0.0450031160584112;
a11 = 0.000587426357284864;
a12 = -0.000027802388768704;
a13 = 2.50701158108596;
a14 = 0.0520017942179553;
a15 = -0.151132806309274;
a16 = 0.00337706106563966;
a17 = 0.000000000000115;
```

```

a18 = 0.000000000000124;
a19 = 0.000000000000147;
a20 = 0.0000000000000019;
a21 = -0.0270367044195315;
a22 = 0.0000024155224874882;
a23 = 0.000437684502661576;
a24 = -0.0000000923020718158269;
a25 = 0.329657649165989;
a26 = -0.000258034859452066;
a27 = -0.00225119143997698;
a28 = 0.00000376877781867333;

```

```

EFICIENCIA = (a0 + a1 .* x.DP5 + a2 .* y.Pcond + a3 .* z.Pevap + a4 .*
w.Tentr_venturi + a5 .* x.DP5 .* y.Pcond + a6 .* x.DP5 .* x.DP5 .* y.Pcond + a7 .*
x.DP5 .* y.Pcond .* y.Pcond + a8 .* x.DP5 .* x.DP5 .* y.Pcond .* y.Pcond + a9 .*
x.DP5 .* z.Pevap + a10 .* x.DP5 .* x.DP5 .* z.Pevap + a11 .* x.DP5 .* z.Pevap .*
z.Pevap + a12 .* x.DP5 .* x.DP5 .* z.Pevap .* z.Pevap + a13 .* x.DP5 .*
w.Tentr_venturi + a14 .* x.DP5 .* x.DP5 .* w.Tentr_venturi + a15 .* x.DP5 .*
w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a16 .* x.DP5 .* x.DP5 .* w.Tentr_venturi .*
w.Tentr_venturi + a17 .* y.Pcond .* z.Pevap + a18 .* y.Pcond .* y.Pcond .* z.Pevap +
a19 .* y.Pcond .* z.Pevap .* z.Pevap + a20 .* y.Pcond .* y.Pcond .* z.Pevap .*
z.Pevap + a21 .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi + a22 .* y.Pcond .* y.Pcond .*
w.Tentr_venturi + a23 .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a24 .*
y.Pcond .* y.Pcond .* w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a25 .* z.Pevap .*
w.Tentr_venturi + a26 .* z.Pevap .* z.Pevap .* w.Tentr_venturi + a27 .* z.Pevap .*
w.Tentr_venturi .* w.Tentr_venturi + a28 .* z.Pevap .* z.Pevap .* w.Tentr_venturi .*
w.Tentr_venturi)/(0.94*220*corrente);

```

```

plot(TT.Timestamps,[EFICIENCIA]);
a=legend('Eficiência','Location','best');

```