



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



Cinthia Reis
Edivar Aparecido Pereira de Souza
Iuri Pavani de Souza

MANUFATURA CONECTADA:
PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO AO MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DO VÁCUO NOS PRODUTOS DE REFRIGERAÇÃO

CURITIBA
2021

Cinthia Reis
Edivar Aparecido Pereira de Souza
Iuri Pavani de Souza

**MANUFATURA CONECTADA:
PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO AO MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DO VÁCUO NOS PRODUTOS DE REFRIGERAÇÃO**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2021**

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a redução do gargalo em um processo industrial onde existe a possibilidade de uma melhoria contínua que enfatiza o cenário atual da Indústria 4.0 para monitorar um carrossel de vácuo por meio de tecnologias embarcadas, com maior visibilidade, produtividade e eficiência. Para ter um controle objetivo do processo de monitoramento do vácuo é fundamental o investimento em software e equipamentos confiáveis para diminuir falhas, aumentar a produção e favorecer a lucratividade. Será necessário efetuar uma boa gestão dos procedimentos e garantir uma integração facilitada no sistema visual com o monitoramento detalhado e um diagnóstico da produção em tempo real.

Palavras-chaves: Processo industrial, melhoria contínua. Indústria 4.0. Carrossel de vácuo. Produtividade.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – GARGALO DA LINHA DE MONTAGEM.....	8
FIGURA 2 – MODELO DE BOMBA DE VÁCUO.....	14
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DO PROJETO	15
FIGURA 4 – PROTOTIPAGEM E EQUIPAMENTOS.....	18
FIGURA 5 – MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO	19
FIGURA 6 – PLANTA BAIXA DA FÁBRICA.....	20
FIGURA 7 – BOMBA DE VÁCUO SEM SISTEMA DE MONITORAMENTO	21
FIGURA 8 – BOMBA DE VÁCUO (FUTURO).....	21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESTUDO DA CAPACIDADE FABRIL.....	16
TABELA 2 – LISTA DE MATERIAIS E SERVIÇOS PARA O PROJETO.....	22

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1. APRESENTAÇÃO DO CONTEXTO.....	7
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	8
1.2.1. Composição do sistema de vácuo	9
1.3. JUSTIFICATIVA.....	10
1.4. HIPÓTESE.....	10
1.5. OBJETIVO GERAL	11
1.6. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS	12
2.1.1. Bomba de deslocamento positivo	12
2.1.2. Bomba de transferência de momento.....	13
2.1.3. Bombas de captura.....	13
2.2. DEFINIÇÃO DE VÁCUO.....	14
3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	15
3.1. PROJETO PRELIMINAR	16
3.1.1. Requisitos de projeto	17
3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO.....	17
3.3. PROJETO FINAL.....	19
3.3.1. Desenho e modelamento.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	25
4.1.1. Entrega do projeto	26
4.1.2. Extensão do projeto.....	26
5. CONCLUSÕES	27
5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho é uma ação de melhoria para um processo industrial referente ao monitoramento de um carrossel de vácuo aplicável no sistema de refrigeração de produtos domésticos, onde o processo atual em funcionamento é um pouco antigo e sem a aplicação de recursos e novas tecnologias para obter o melhor resultado.

O carrossel de vácuo analisado neste trabalho de conclusão de curso foi projetado e implementado em 2007. É um processo robusto e eficiente da forma como está, porém, na nossa percepção, no mesmo layout atual é possível buscar um resultado maior em produtividade e qualidade com a aplicação de ações voltadas à indústria 4.0 e sem impactar no espaço físico fabril.

O trabalho contextualizado descreve sobre a criação e utilização da bomba de vácuo onde fazemos a aplicação em um processo industrial necessário para monitorar a performance da qualidade e o desenvolvimento de uma melhoria contínua e economicamente viável. Conhecer um pouco da história do desenvolvimento da bomba de vácuo será necessário para fazer um comparativo atualmente, pois é um equipamento destinado a retirar os gases, a umidade e as impurezas de um determinado sistema ou circuito de forma que a pressão seja baixada a valores parametrizados com o mesmo propósito do projeto.

1.1. APRESENTAÇÃO DO CONTEXTO

Pode parecer muito comum para quem trabalha no segmento, mas até profissionais podem ter dúvidas sobre as melhores práticas da aplicação do vácuo em sistema de refrigeração.

Para melhor eficiência e bom funcionamento desses processos em sistema de refrigeração é importante que seja retirado a umidade, gases não condensáveis e ou impurezas. A forma mais eficaz de retirar esses resíduos indesejados é a utilização de uma bomba de vácuo, e garantir assim a melhor performance para o funcionamento correto do sistema.

A não realização ou insuficiência de vácuo em um sistema de refrigeração altera a qualidade do fluido refrigerante como a amônia (R134a, R600a e outros) que, em contato com o ar, podem reagir e formar ácido fluorídrico e clorídrico. A umidade promove a corrosão interna da tubulação do sistema e dificulta o processo de condensação do fluido refrigerante.

Os ácidos formados nos vasos e tubulações de refrigeração devem ser evacuados antes da aplicação ou do início de carregamento com fluido refrigerante e não serem carregados sob pressão de ar, pois interagem com os metais presentes nos tubos onde gera impurezas indesejadas que ocasionam entupimento de filtros, dos tubos capilares e das válvulas de expansão.

Segundo Joubert Silva, especialista técnico na Engefril afirma:

“Outro momento que também pode ser necessário refazer o vácuo no sistema de refrigeração é em caso de ruptura da tubulação ou após alguma intervenção, onde houve a abertura da rede. O processo de vácuo em sistema de refrigeração é fundamental para manter a vida útil do aparelho/produto e evitar que a umidade e gases não condensáveis estejam presentes no sistema, provocando baixo rendimento da instalação, dificuldades no processo de condensação, sobrecarga nos compressores, comprometer a vida útil e consequentemente maior custo e ou desperdícios no consumo de energia elétrica”.

SILVA, Joubert. Entenda sobre a importância do vácuo em sistema de refrigeração. **Engefril**,2018.Disponível em:<<http://www.engefril.com.br/entenda-sobre-a-importancia-do-vacu-em-sistema-de-refrigeracao/>>. Acesso em: 20 de jun. de 2021.

No processo produtivo analisado, um sistema de vácuo eficiente é quando se trabalha com a pressão estável, sem vazamentos, com as válvulas de processo e vedações bem conservadas. Qualquer desestabilização pode comprometer a qualidade da produção e aumentar o consumo de energia elétrica, pois requer maior trabalho da bomba para compensar a mudança de cenário.

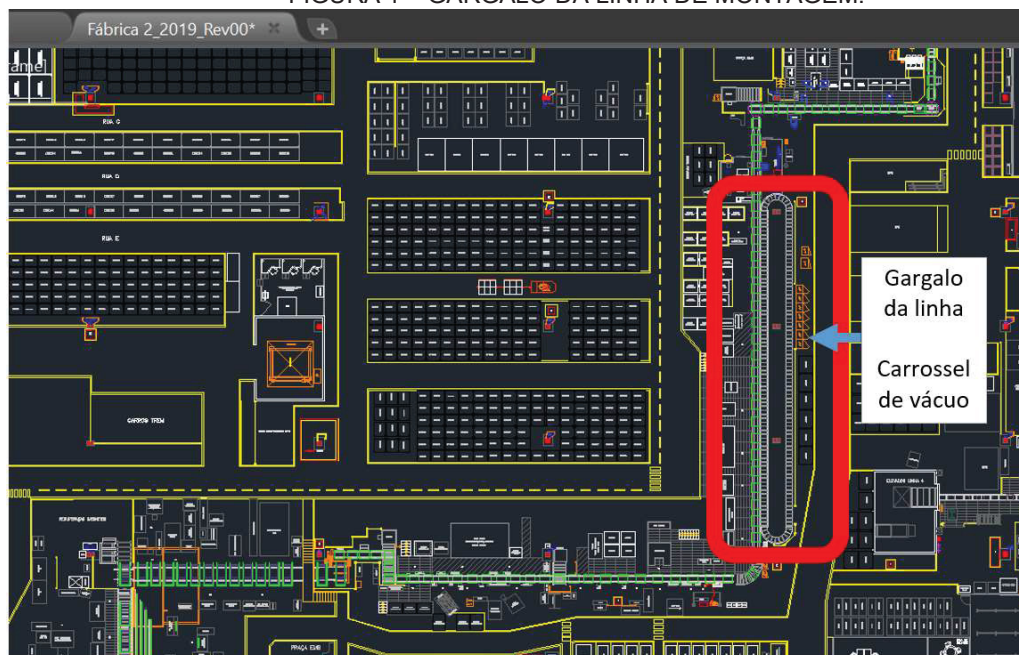
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O sistema ou carrossel de vácuo analisado nesse estudo é parte de uma linha de montagem de refrigeradores que é considerado um gargalo atualmente.

Na linha de produção o gargalo é um ponto onde ocorre o travamento do processo ou que está com capacidade inferior à velocidade balanceada para a operação e não permite com que as tarefas sejam executadas conforme o esperado. Ele impede a continuidade da produção ou faz com que ela aconteça em uma velocidade abaixo do necessário.

Na figura 1 pode-se verificar o atual gargalo da linha de montagem. Na referência em verde está o fluxo da produção e no círculo em vermelho o carrossel de vácuo e seus periféricos.

FIGURA 1 – GARGALO DA LINHA DE MONTAGEM.



FONTE: O AUTOR.

1.2.1. Composição do sistema de vácuo

O sistema de vácuo está fisicamente situado no meio de um processo fabril, com atividades de montagens anteriores, durante e posteriores, é composto por uma esteira transportadora, um carrossel com 50 bombas de vácuo de alta performance para o tipo de produto que trabalha, 4 bombas reservas para o processo, mangueiras e conexões de acoplamento com os produtos, 1 barramento de alimentação elétrica, 1 painel elétrico de força e comando com cabeamentos, 1 IHM, 3 postos de trabalho operacional para conectar e desconectar as bombas aos produtos e botoeiras de acionamento para partida, parada e emergência.

Esse sistema trabalha de forma contínua e segue a velocidade de ciclo da linha de montagem e uma especificação de tempo de processo (17 minutos), que é o tempo mínimo de vácuo requerido para que o produto final receba a aplicação de fluido refrigerante e tenha a performance de funcionamento conforme os parâmetros que a engenharia de produto e da qualidade definem.

O problema identificado é que o carrossel está muito próximo da sua capacidade máxima e não possui automação de monitoramento da qualidade do vácuo aplicado nos produtos em produção. O operador apenas consegue verificar se as bombas estão em funcionamento ou paradas pelo ruído do motor elétrico, não consegue verificar de forma visual se os parâmetros do processo estão de acordo com o atendimento exigido e isso gera desconfiança do sistema como um todo.

A linha de produção está com capacidade produtiva limitada, portanto essa é a oportunidade que foi encontrada para implementar tecnologia 4.0 e buscar ganhos nos dois pontos analisados, qualidade e produtividade.

1.3. JUSTIFICATIVA

O processo industrial referente ao carrossel das bombas de vácuo necessita de uma tecnologia avançada para permitir ganhos na qualidade e certificar o monitoramento do vácuo em tempo real. Mediante as análises realizadas em laboratório, foi aprovado a redução do tempo de ciclo em 2 minutos onde a engenharia da qualidade certifica a documentação técnica pelo fato de conseguir monitorar o processo de forma automática e também como um recurso adicional (não existente no processo atual) que possibilita maior confiabilidade na produção e viabiliza a redução do tempo proposto. Nesse projeto, a ação é tornar o processo mais eficiente e produtivo para a empresa de um modo geral, com ganho no tempo e na qualidade para uma melhor performance.

1.4. HIPÓTESE

Atualmente existem duas opções para a solução do gargalo. A primeira opção é aumentar o tamanho do carrossel de vácuo, isso inclui aumento na extensão da esteira transportadora, na quantidade de bombas de vácuo, no barramento elétrico de alimentação, realocação dos postos de trabalho operacional e dos equipamentos de pequeno porte, reavaliar a iluminação, readequar o painel elétrico e de comando para alteração do layout com o impacto na área fabril utilizada. Na segunda opção será possível implementar recursos da tecnologia 4.0 com inteligência do sistema desenvolvido e específico para uma programação lógica, sem impactar no layout fabril atual e no espaço físico em funcionamento. A proposta escolhida é a segunda opção para não impactar nas montagens que antecedem o processo de vácuo, bem como, as posteriores. Assim, a alteração na fábrica em locais que não são diretamente interligados com o carrossel de vácuo é um diferencial para a melhoria do processo, pois a implementação utilizada será inteligente e eficiente para obter ganho na produtividade e qualidade com menores impactos no custo.

1.5. OBJETIVO GERAL

Eliminar o atual gargalo de uma linha de montagem fabril via controle eletrônico, melhorar a qualidade e a confiabilidade do processo de vácuo e permitir o aumento da produtividade com gestão visual e parametrizada.

1.6. OBJETIVO ESPECÍFICO

Utilizar recursos da indústria 4.0 para monitorar e informar a performance dos resultados do processo, aumentar a produtividade em até 11%, reduzir o tempo de ciclo em 2 minutos, melhorar o indicador de qualidade referente às aprovações no processo de vácuo e gerar relatórios das comprovações em tempo real, diário, semanal e mensal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação da tecnologia do vácuo é grande, para determinados propósitos pressões da ordem de 100 mbar podem ser suficientes, mas para outros propósitos são necessárias pressões da ordem de 10-10 mbar. Em um processo produtivo existe uma grande variedade de tipos de bombas de vácuo capazes de atender as mais diversas aplicações.

Em uma experiência feita em 1641, na Itália, Gasparo Berti fez os primeiros experimentos para poder produzir vácuo com a utilização tubos de barômetro preenchidos com água. Entretanto os resultados não foram muito assertivos. Em uma pesquisa sobre a história da bomba de vácuo podemos dizer que a primeira bomba de vácuo, no sentido de uma máquina capaz de remover progressivamente o ar de um recipiente fechado, foi inventada pelo prefeito da cidade de Magdeburgo, Alemanha, Otto von Guericke (1602-1686) por volta do ano de 1650. Após anos de aperfeiçoamento da bomba de vácuo, Guericke escreveu no livro de Kaspar Schott, "Mechanica Hydraulica-Pneumatica" em 1687:

"A bomba de vácuo consiste de um tubo cilíndrico com duas válvulas movidas a água e um pistão onde precisava de muita força para ser movido, sendo necessário a ajuda de três homens".

SCHOTT, Kaspar. *Mechanica Hydraulica-Pneumatica*. Disponível em <<https://www.eletrofrigor.com.br/bomba-vacu-18-cfm-380v-duplo-estagio-industrial>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS

As bombas de vácuo podem ser classificadas em 3 categorias: Bombas de deslocamento positivo, bombas de transferência de momento e bombas de captura.

2.1.1. Bomba de deslocamento positivo

Bombas de deslocamento positivo é um tipo de bomba onde é possível manipular o gás com movimentos repetitivos das peças mecânicas devidamente sincronizados com a abertura e fechamento de válvulas onde o gás é deslocado da

entrada até a saída em pequenas quantidades, com uma alta taxa de repetição e compressão.

2.1.2. Bomba de transferência de momento

Nesse modelo as moléculas do gás exercem uma capacidade de interação com um jato de alta velocidade de fluido ou com uma superfície sólida em movimentação rápida. Esta interação altera a direção do movimento da molécula e empurra continuamente até a saída a uma pressão menor que a atmosférica. E necessita de uma outra bomba ligada à sua saída para funcionar. Alguns exemplos são: Bomba difusora, bomba *drag* e bomba turbo molecular.

2.1.3. Bombas de captura

Nas bombas de captura as moléculas são removidas da fase gasosa através de uma captura que pode ser realizada em superfícies, por processos físicos ou químicos de condensação ou adsorção. O processo de captura é ajudado pela presença de campos elétricos ou magnéticos presentes na bomba, exemplos: São as bombas criogênicas, bombas de sublimação e bombas iônicas.

O vácuo é fundamental porque remove líquidos ou resíduos acumulados, assim como também elimina a umidade presente no sistema para evitar danos ao compressor. A bomba de vácuo em sua funcionalidade proporciona vácuo em menos tempo, pois seu uso é recomendado para sistemas de refrigeração doméstico e industrial.

Na figura 2 a seguir é possível verificar o modelo de bomba de vácuo similar ao utilizado no presente trabalho.

Trata-se de um modelo e capacidade para aplicação industrial, com alimentação 380V, trabalho em uso contínuo ou intermitente, aplicável para fabricação de produtos domésticos, ou seja, produtos com dimensionamento do sistema de refrigeração de pequeno porte (refrigeradores e ar condicionado). Não aplicável para produtos com circuito ou sistema de refrigeração de grandes capacidades, como balcão frigorífico, câmaras de congelamento e outros.

FIGURA 2 – MODELO DE BOMBA DE VÁCUO



FONTE: Disponível em <<https://www.eleetrofrigor.com.br/bomba-vacuo-18-cfm-380v-duplo-estagio-industrial.html>> Acesso em: 24 jan. 2021.

2.2. DEFINIÇÃO DE VÁCUO

Para seguir com o desenvolvimento das atividades vamos verificar o significado de vácuo. No dicionário a definição de vácuo é:

“O que é vazio, sem nada, desprovido de conteúdo, espaço sem matéria, oco. Região espacial desprovida de matéria, região cujo ar é extremamente rarefeito e de pressão quase inexistente”.

RIBEIRO, Débora, Dicionário Online de Português. Dicio, 2018. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/vacuo/>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

Na nossa aplicação o vácuo é utilizado para retirar a umidade, óleos, possíveis impurezas e diminuir a pressão. O objetivo do processo é deixar o circuito ou sistema de refrigeração praticamente isento para receber o fluido refrigerante e alcançar a melhor performance possível durante a vida útil dos produtos.

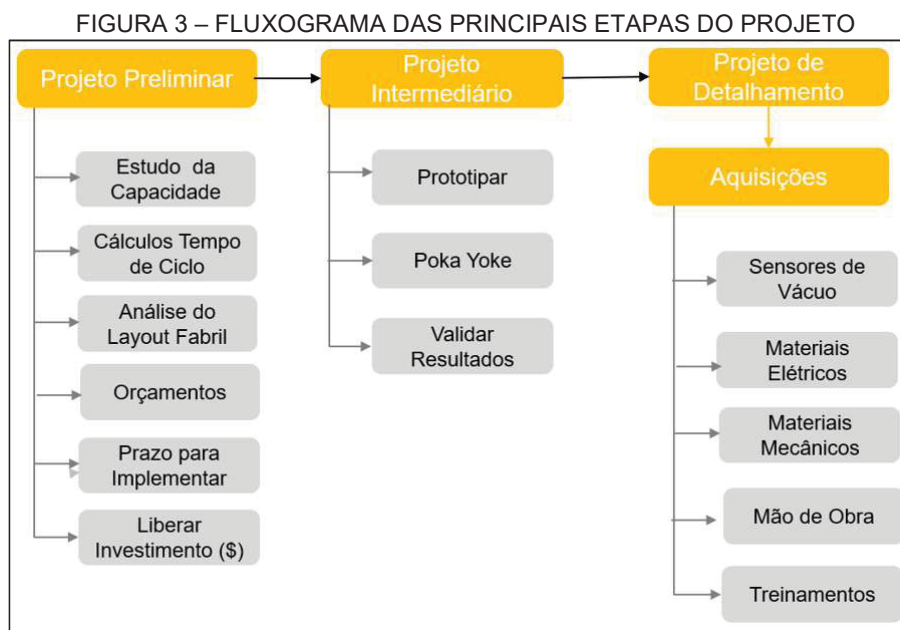
Para o processo analisado, o princípio de funcionamento para aprovação do produto com o nível de vácuo desejável alcançado durante a produção é definido conforme parâmetros do processo e com base no sistema *Poka Yoke*.

3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O método proposto e analisado foi desenvolvido através de um protótipo com reprodução do processo em escala menor.

A simulação do monitoramento do vácuo para validar o ganho na produtividade e qualidade do processo foi analisado pela área de qualidade, mediante ensaios em laboratório, para efetivar a redução do tempo de ciclo em dois minutos (de 17 para 15 minutos).

Para dar andamento e validação na proposta de melhoria e liberação do investimento junto às áreas de interesse da empresa, foi imprescindível a descrição das atividades como segue na figura 3.



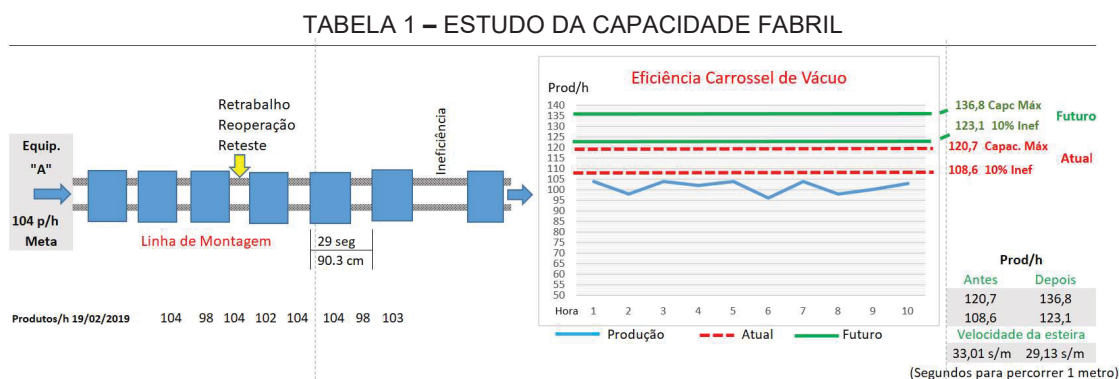
FONTE: O AUTOR.

Nesse planejamento foram descritas as principais atividades consideradas para avaliação dos aspectos técnicos, prazos, validações, aquisições e treinamentos necessários.

3.1. PROJETO PRELIMINAR

Nesta fase inicial realizamos estudo da capacidade fabril. Foram analisados os parâmetros atuais do processo para a identificação e comprovação do gargalo, bem como, o novo cenário fabril já considerada a melhoria implementada.

Na tabela 1 a seguir, do lado esquerdo está representado a linha de montagem em produção e do lado direito a representação gráfica dos dados analisados para um dia normal de produção (8,0 horas).



FONTE: O AUTOR.

Na análise dos dados da produção foi considerado uma margem de ineficiência de 10% que é normal em um processo produtivo com todas as variáveis que ocorrem em uma rotina de trabalho, como exemplo: Perdas por falta de qualidade, manutenção, retrabalho, reparação, falta de materiais no momento da montagem entre outros.

Dessa forma, a produção atual é de 108,6 produtos por hora (linha vermelha pontilhada inferior do gráfico).

Na proposta de melhoria a produção aumenta para 123,1 produtos por hora (linha verde inferior do gráfico), considera-se a mesma ineficiência de 10%.

Como resultado final, o nosso projeto permite o ganho de produtividade em aproximadamente 11%. Isso elimina o gargalo e permite o aumento da produção na referida linha de montagem.

Os pontos a considerar como efetivo da produção máxima representada no gráfico que atualmente é de 120,7 (linha vermelha pontilhada superior do gráfico) aumenta para 136,8 (linha verde superior do gráfico) produtos por hora após a

implementação. Isso em função de que o máximo dificilmente é alcançado na produção. Como histórico do processo existente, o trabalho sempre será com a ineficiência de 10% uma vez que a empresa utiliza esse método para as projeções dos estudos e aumento da capacidade fabril.

3.1.1. Requisitos de projeto

Para que se tenha o ganho em produtividade com o layout fabril atual (sem impacto físico na linha de montagem) a especificação do tempo de vácuo altera de 17 para 15 minutos por ciclo e produção.

Com isso, a velocidade da esteira de montagem no mesmo espaço atual é aumentada e, conforme a Tabela 1, passa de 33,01 para 29,13 segundos para percorrer 1 metro linear. Na entrega de produtos considera-se o aumento da produtividade em aproximadamente 11% para eliminar o gargalo da produção.

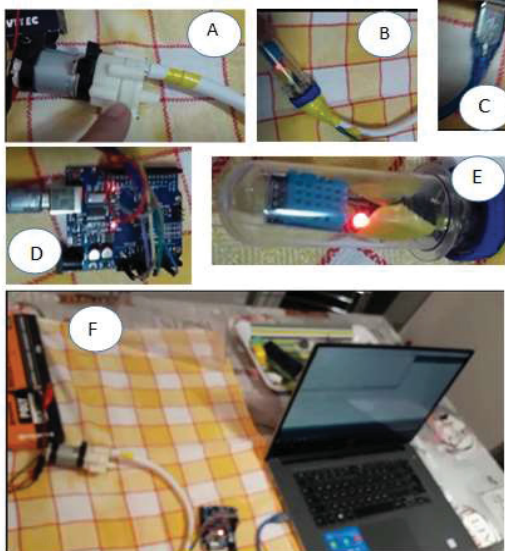
Com os dois parâmetros acima citados, tempo de ciclo e velocidade da esteira de montagem, ocorre a alteração do processo e o ganho na produtividade desejada.

3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO

Nesta fase intermediária para a tomada da decisão referente à implementação ou não do projeto de melhoria e validação da proposta, foi realizado um protótipo em pequena escala para simular e validar os parâmetros de vácuo controlados no processo (pressão, umidade e temperatura interna do circuito de refrigeração).

Para a simulação e análise do processo, conforme figura 4 a seguir, utilizamos uma bomba de vácuo 12V (foto A), 1 câmara de vácuo (foto B), cabos e conexões (foto C), 1 arduíno (foto D), 1 sensor de pressão/vácuo (foto E), 1 sensor de umidade (foto E), 1 sensor de temperatura (foto E), 1 computador (foto F), mangueira (foto F), software (foto F) e display programável (foto F).

FIGURA 4 – PROTOTIPAGEM E EQUIPAMENTOS



FONTE: O AUTOR.

Na figura 5 a seguir é possível verificar os parâmetros do processo monitorados pela simulação/protótipo. Os resultados obtidos nas informações a seguir conforme figura 4 são de um tempo de 40 segundos do sistema em funcionamento.

Não foi utilizado nenhum dado do processo real da linha de produtos por ser de propriedade da empresa que detém o processo fabril e não há permissão para a divulgação dos parâmetros da produção.

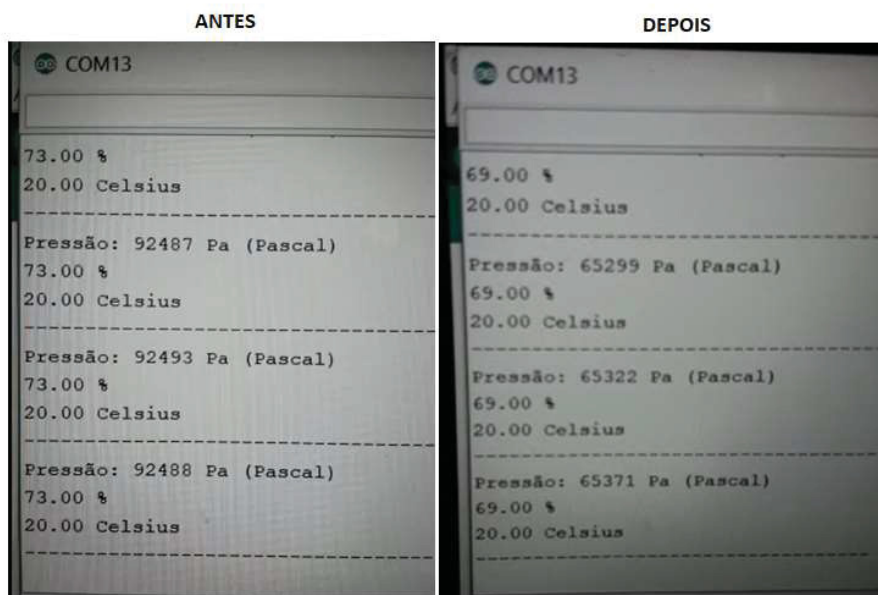
Do lado esquerdo da figura 5 a seguir é possível verificar o comportamento do processo na câmara de vácuo do protótipo:

- Pressão inicial: 92487 Pa (Pascal)
- Umidade: 73,00%
- Temperatura: 20,00 °C (Graus Celsius)

Do lado direito da figura 5 a seguir está a visualização da medição após 40 segundos de funcionamento do protótipo:

- Pressão: 65299 Pa (Pascal)
- Umidade: 69,00%
- Temperatura: 20,00 °C (Graus Celsius)

FIGURA 5 – MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO



FONTE: O AUTOR.

Pode-se observar que houve redução da pressão e umidade em comparação com a medição inicial e que a temperatura se manteve estável.

Baseado nesse comportamento, resultado do protótipo em pequena escala, é como deve ser o monitoramento do processo produtivo devidamente dimensionado, parametrizado, testado e validado pelas áreas de responsabilidade da empresa.

3.3. PROJETO FINAL

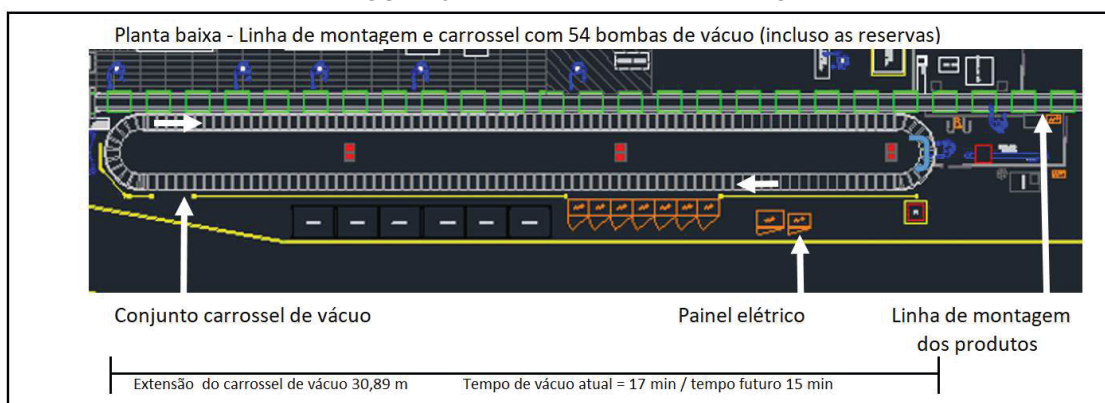
3.3.1. Desenho e modelamento

Na figura 6 a seguir verifica-se o layout fabril que compreende o conjunto carrossel de vácuo e a linha de montagem dos produtos. O sentido da produção, ou seja, a linha em movimento trabalha da esquerda para a direita.

As bombas de vácuo em produção são conectadas aos produtos (uma bomba de vácuo para cada produto) que percorrem a esteira transportadora em movimento com uma extensão total de 30,89 metros (linear) do momento da conexão e da desconexão.

Ao final do processo as bombas de vácuo retornam automaticamente sem carga para que seja novamente reiniciado o ciclo em outro produto. Dessa forma, a produção segue sucessivamente.

FIGURA 6 – PLANTA BAIXA DA FÁBRICA



FONTE: O AUTOR.

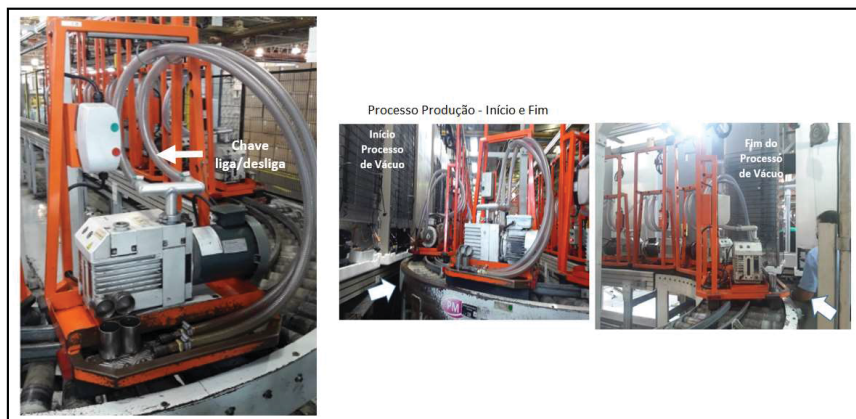
Na figura 7 a seguir pode-se verificar a foto de uma bomba de vácuo na condição de trabalho.

Observar que não existem equipamentos eletrônicos instalados para fazer o monitoramento do processo, apenas uma chave liga/desliga para o operador atuar conforme a necessidade.

O operador não consegue saber como está a qualidade e a performance do processo, apenas identifica pelo ruído das bombas se estão ligadas ou desligadas. Por isso a comprovação da falta de confiabilidade no processo.

É justamente esse ponto que permite as ações para o projeto de melhoria.

FIGURA 7 – BOMBA DE VÁCUO SEM SISTEMA DE MONITORAMENTO

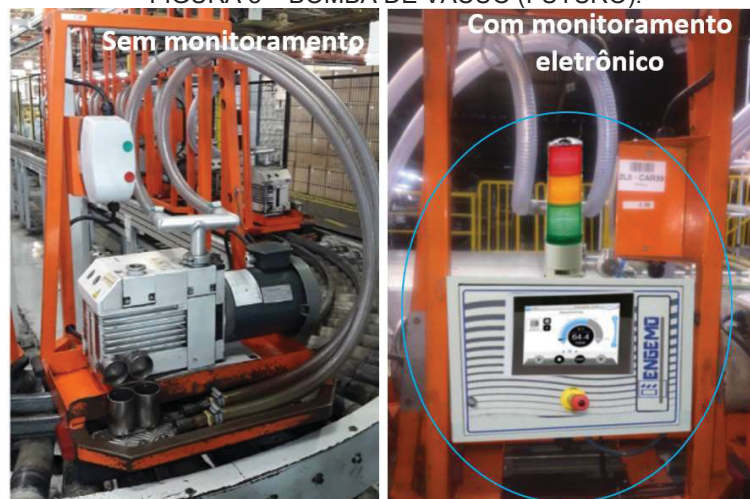


FONTE: O AUTOR.

Com isso, a utilização de tecnologia 4.0 sem impactar no layout físico fabril existente, permite a instalação de sensores para as medições do processo de vácuo e o monitoramento automático com a gestão visual da performance em tempo real (no ciclo da produção).

Na figura 8 a seguir visualiza-se o esquema de bomba na versão futura:

FIGURA 8 – BOMBA DE VÁCUO (FUTURO).



FONTE: O AUTOR.

Os dados obtidos do processo podem ser centralizados em um computador ou servidor, serem tratados em formato de gráficos e projetados em um telão com o resultado da performance de cada equipamento, porém com um custo adicional.

Menor custo: Monitoramento individual com 1 painel digital por equipamento.

Custo Maior: Monitoramento individual com 1 painel digital por equipamento e centralizado em um telão para melhor gestão visual do processo.

Na tabela 2 a seguir é possível verificar a lista de materiais e serviços necessários para a execução das atividades. Os materiais compreendem a adequação dos equipamentos envolvidos, mão-de-obra especializada e treinamentos operacionais e de manutenção.

TABELA 2 – LISTA DE MATERIAIS E SERVIÇOS PARA O PROJETO

Item	Qtde	Descrição	Observação
1	54	KIT VÁCUO	Station performance Process type Pressure controlled Pressure controlled with time-out Time controlled Time controlled with min and max. Limit Pressure rise test Endless repetition Vacuum circuit with 2 point connection, down to 0,02 mbar (abs) with active Pirani Sensor Hose length: 2 meters Coupling type Hansen 2HK CVC nano controller with Graphical display and visual indicators for running, Pass Fail, On and System error, diagnostic monitoring of sensor, TPM and I/O control. Languages: English, German and danish+B20 On-board CAN interface and IrDA communication (PLIS connection) EDP: 119-000004A - NCM: 9030.39.90
2	1	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	2 off IrDA communication modules with position sensors 1 off Ambient temperature sensor 1 off AIS - Communication System Interface including interface for IrDA modules, scanner and ambient sensor 1 off CPT-X Control Software including 5 devices total (PLIS Basis needed additional) Limits setup Results graphs Report and basic statistical functions Automatic print out function EDP: AG256-000000 - NCM: 9031.80.99
3	1	Licença de software - PLUS Basic Server Version 5 (1 Line License)	EDP: 260-0000201
4	1	Leitor de código de barras com fio	AGB-0000368 - NCM: 8471.90.12
5	54	Válvula solenoide de isolamento para alto vácuo	AGB-0000128 - NCM: 8481.80.92
6	54	Anel de centragem aço inox DN 25 KF	EDP: 88347 - NCM: 7307.29.00
7	54	Abraçadeira NW25	EDP: 210-5799342 - NCM: 7609.00.00
8	54	Anel de centragem NW16 sinterizado	EDP: 88351 - NCM: 7307.29.00
9	54	Abraçadeira NW16	EDP: 210-5799341 - NCM: 8479.90.90
10	108	Adaptador Solenoide	AGB-0000095 - NCM: 9026.10.21
11	54	Cabeçote duplo 19mm	AGB-0000317 - NCM: 9026.10.21
12	216	Mangueira DN020 cristal	EDP: AGB-0000345 - NCM: 3917.39.00
13	108	Engate conector mangueira Diam 19 mm / ¼ NPT	AGB-000341 NCM 90261021
14	54	Válvula Solenoide Normalmente Fechada	AGB-0000352 - NCM: 8481.80.92
15	54	Filtro de entrada retenção particulado	AGB-0000351 - NCM: 8481.90.90
16	54	Conexão Válvula do gas ballast ¼ npt	AGB 0000349
17	54	Adaptador Válvula	AGB 0000348
18	54	AF 16 Filtro depurador gases de exaustao bomba de vacuo D 16 B	EDP: 210-5799052 - NCM: 8421.39.90
19	54	Anel de centragem aço inox DN 25 KF -	EDP: 88347 - NCM: 7307.29.00
20	54	Abraçadeira NW25 - EDP: 210-5799342	NCM: 7609.00.00
21	1	Instalação com duração de 5 dias de trabalho em horário normal	Despesas de viagem inclusas
22	1	Acompanhamento de produção e treinamento por 3 dias	Despesas de viagem inclusas

Nota 1: Serviço de montagem sendo considerado em horário normal de trabalho em dias uteis.

Nota 2: Necessário evitar que os carros colidam pois dessa forma a vida útil dos sensores de vácuo serão prejudicadas em função do impacto das batidas

FONTE: O AUTOR.

Informações técnicas importantes para o processo: Permitir que alguns passos do processo possam ser habilitados ou desabilitados de acordo com a preferência da engenharia da planta.

Permitir que o recurso de compensação por umidade ou temperatura ambiente (opcional) se estabeleça de forma automatizada a uma extensão para o tempo de evacuação em função de cada grau Celsius de temperatura ou a cada 5% de aumento de umidade relativa. Esses dados devem ser abertos para engenharia de processos atuar se necessário.

Para esta solução o software para computador deve permitir a edição dos parâmetros de processo, e uma vez definido, pode-se realizar o download nas estações sem necessidade de realizar ajustes individuais (pelo display IHM individual).

De mesma forma, este software pode ser usado para execução do processo com captura contínua de dados a cada 20ms e entrega de um arquivo Excel com os dados e gráficos de evolução (com um notebook conectado às estações).

Prever uma automação do processo com captura de dados para fins de rastreabilidade em base de dados, com uma estação de envio de parâmetros na entrada do carrossel, e outra para recebimento dos dados na saída por infravermelho (sem necessidade de cabeamento).

Os sensores de vácuo devem ter potenciômetros para calibração por ganho e offset.

Por questões técnicas pertinentes da empresa contratante não será disponibilizado detalhes do orçamento, pois ainda está em avaliação pela empresa.

O projeto foi orçado com três empresas fornecedoras de materiais e mão de obra, com conhecimentos técnicos e capacitação no processo de vácuo.

Valores aproximados do investimento:

- ✓ Opção 1: R\$600.000,00 (com monitoramento individual por bomba de vácuo).
- ✓ Opção 2: R\$1.000.000,00 (com monitoramento individual por bomba de vácuo e centralizado em um telão com apresentação dos dados em modo gráfico em tempo real).

Como referência apontada na tabela 1, o projeto permite aumentar em até 14,5 produtos por hora no carrossel de vácuo.

O Payback para as propostas do projeto ocorre da seguinte forma: Considera-se como cálculo estimado o aumento da produção em 1 produto por hora, com o ganho na redução de tempo proposto no ciclo de produção, o retorno do investimento ocorre em 11,2 meses para a opção 1 de investimento e 18,7 meses para a opção 2.

Como análise de capacidade, para um aumento considerável na produção (superior a 1 produto por hora) será necessário estudar outros pontos da linha de montagem, analisar se é possível absorver maior demanda e se é preciso implementar novas melhorias necessárias em todo o processo com impacto no orçamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Por se tratar de uma linha de montagem fabril e produtos com valor agregado significativo, a redução do tempo de vácuo em 2 minutos por ciclo permite um ganho de produção horária em até 11%. Na análise do processo, a linha de montagem ganha maior velocidade para percorrer o mesmo espaço físico e, como consequência, reduz o ciclo da operação que permite a viabilidade econômica.

Com o investimento da opção 1 (R\$600.000,00) ou da opção 2 (R\$1.000.000,00) o ganho na produtividade é o mesmo se considerar o percentual anteriormente analisado (11%).

O monitoramento deve informar para o operador os dados numéricos e em gráficos no visor da IHM e também por meio de um sinalizador luminoso instalado em cada equipamento. Em uma condição normal de trabalho, no início de funcionamento da bomba de vácuo, imediatamente após conexão ao produto, deve estar com o sinalizador em vermelho, após um determinado tempo passar para amarelo e ao final com o nível de vácuo desejado confirmar em verde, conforme parâmetros pré-definidos e leituras realizadas na produção.

O diferencial e benefício do maior investimento proposto está na confiabilidade, na qualidade e na gestão visual do processo. A opção 2 permite que, além do controle da operação, a performance das bombas de vácuo seja visualizada no telão instalado para o acompanhamento dos dados coletados e a comprovação da performance em tempo real, além de gerar dados gráficos da produção. Os operadores e outras pessoas também podem visualizar as informações relatadas próximas aos pontos principais ao carrossel de vácuo, como exemplo o corredor de acesso da fábrica.

Pontos a considerar:

- Incremento de capacidade fabril.
- Maior confiabilidade na qualidade final dos produtos.
- Melhoria nos indicadores analisados.
- Diminuição dos custos (operação cada vez mais eficiente).
- Expansão do negócio e a excelência no atendimento proposto.
- Criar a percepção do cliente para melhor visibilidade.
- Diminuir impactos de manutenção mediante a preventiva aplicada.

- Maior controle e gestão visual de um processo.
- Eliminação do gargalo.
- Tecnologia 4.0.

4.1.1. Entrega do projeto

Como entrega final do projeto de melhoria, os resultados foram apresentados para a gerência direta da fábrica e para um grupo de transformação digital voltado para investimentos tecnológicos da empresa.

Porém a decisão de implementação e a liberação da verba necessária ainda não foi tomada pela diretoria.

4.1.2. Extensão do projeto

O mesmo projeto aplicável para a linha de produção analisada também pode ser implementado em outras 4 linhas de montagens da mesma empresa. Cada uma com suas características de funcionamento e particularidades que requerem um estudo individual, mas todas apresentam possibilidades de ganhos similares. No entanto, nem todas as linhas de montagens tem o gargalo no carrossel de vácuo, mesmo assim a nossa proposta vai ao encontro de ganhos e permite o incremento de capacidade fabril com o uso de tecnologia 4.0.

5. CONCLUSÕES

Nesse trabalho abordamos o tema de uma melhoria fabril onde se evidencia o gargalo de um processo com 50 bombas para o monitoramento do vácuo necessário e especificado para a melhor performance e vida útil de uma linha de produtos de refrigeração doméstica.

Após as pesquisas e estudos realizados, adquirimos o conhecimento de que é possível implantar um sistema de tecnologia avançada onde será efetivo a garantia da qualidade do vácuo e a redução do tempo de ciclo que hoje é definido pelo setor de engenharia da qualidade.

Os objetivos propostos foram alcançados mediante análises e prototipagem. Também foram difundidos nas áreas de responsabilidade da empresa para o conhecimento e identificação da oportunidade no processo fabril.

Os ganhos apresentados nesse projeto permitem o desenvolvimento de novos produtos na linha de produção, reduzir retrabalhos ao longo do ciclo por falhas no processo de vácuo e treinamentos operacionais para identificar uma manutenção preditiva.

A empresa considera viável um Payback inferior a 2 anos e a tomada de decisão sobre o investimento é uma oportunidade de crescimento, a decisão da implementação está em análise pela diretoria.

Este trabalho foi muito importante para o nosso desenvolvimento e conhecimento na indústria 4.0. A compreensão e o aprofundamento desse tema nos fizeram agregar melhores práticas de simulação de um controlador de software, programação lógica, eliminação do desperdício e a melhoria contínua pertinente ao processo realizado.

Enfim, são diversos processos definidos e competentes para a organização e comunicação dos dados informados onde é necessário o bom desempenho para manter a produtividade e o lucro da empresa.

5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a análise e discussão dos resultados identificamos questionamentos a serem confirmados neste trabalho para apontamento de sugestões na continuidade dos estudos. Essas sugestões são listadas na sequência:

- Mensurar a redução no consumo de energia elétrica em função do tempo de ciclo menor no carrossel de vácuo e garantir a lucratividade real do produto final.
- Programar o desligamento automático das bombas de vácuo no carrossel no tempo de retorno (que estão sem carga) e definir o início do novo ciclo através de sensores de presença para reduzir o consumo de energia elétrica e desgaste mecânico no momento em que as bombas estão sem conexões aos produtos.
- Estender a mesma ação para os equipamentos de vácuo utilizados nas oficinas de manutenção e assistência técnica de produtos de refrigeração (refrigeradores e ar condicionado). Nesse caso, por se tratar de poucos equipamentos por oficina (1 ou 2 bombas de vácuo apenas), requer um projeto menor com o custo reduzido e que atenda aos requisitos de qualidade para a reparação de manutenção. Além disso pode melhorar a qualidade dos serviços de manutenção por permitir o controle e parâmetros de vácuo muitas vezes não seguidos nessas atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOTVS, **Linha de produção: conheça os principais gargalos e como evitar**. Equipe TOTVS, 2018. Disponível em <<https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/linha-de-producao-gargalos/>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

VINICIUS, André, **Vácuo na prática: entenda como funciona esse tipo de sistema!** Blog da eficiencia energética,2019. Disponível em: <<https://eficienciaenergetica.atlascopco.com.br/vacuo-na-pratica/>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

RIBEIRO, Débora, **Dicionário Online de Português. Dicio,2018**. Disponível em:<<https://www.dicio.com.br/vacuo/>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

SILVA, Joubert. **Entenda sobre a importância do vácuo em sistema de refrigeração**. Engefril,2018. Disponível em:<<http://www.engefril.com.br/entenda-sobre-a-importancia-do-vacuo-em-sistema-de-refrigeracao/>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.

SCHOTT, Kaspar. **Mechanica Hydraulica-Pneumatica**. Disponível em <<https://www.eletrofrigor.com.br/bomba-vacuo-18-cfm-380v-duplo-estagio-industrial>>. Acesso em: 24 de janeiro, 2021.