



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOSÉ MATHEUS DA SILVA NASCIMENTO

**USO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE PARA ANÁLISE DE OBSTRUÇÃO EM
SISTEMA DE SECAGEM E DESUMIDIFICAÇÃO DE AR**

Recife

2022

JOSÉ MATHEUS DA SILVA NASCIMENTO

**USO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE PARA ANÁLISE DE OBSTRUÇÃO EM
SISTEMA DE SECAGEM E DESUMIDIFICAÇÃO DE AR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo aluno José Matheus da Silva Nascimento, ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Química.

Orientador (a): Luciano Costa Almeida

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Nascimento, José Matheus da Silva Nascimento.

Uso de ferramenta de qualidade para análise de obstrução em sistema de secagem e desumidificação de ar / José Matheus da Silva Nascimento Nascimento. - Recife, 2022.

44 : il., tab.

Orientador(a): Luciano Costa Almeida Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Ferramentas da Qualidade. 2. Diagrama de Ishikawa. 3. Adsorção. 4. Torre de secagem. 5. Indústria. I. Almeida, Luciano Costa Almeida. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

JOSÉ MATHEUS DA SILVA NASCIMENTO

**USO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE PARA ANÁLISE DE OBSTRUÇÃO
EM SISTEMA DE SECAGEM E DESUMIDIFICAÇÃO DE AR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo aluno José Matheus da Silva Nascimento, ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Química.

Aprovado em: 07/11/2022

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

LUCIANO COSTA ALMEIDA

Data: 08/11/2022 09:03:22-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Luciano Costa Almeida (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente

ELIANE BEZERRA DE MORAES MEDEIROS

Data: 08/11/2022 10:38:02-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Eliane Bezerra de Moraes Medeiros (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente

CHESQUE CAVASSANO GALVAO

Data: 08/11/2022 11:15:55-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Chesque Cavassano (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio nesses longos anos de curso, em especial a minha mãe Maria José da Silva e ao meu pai Antônio Luiz do Nascimento que não mediram esforços para que esse sonho se tornasse real.

A Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de realização do curso, em especial aos professores que me passaram tanto conhecimento.

Ao meu orientador Luciano Costa Almeida pela paciência na orientação desse trabalho.

A empresa onde fiz desenvolvi esse relatório, em especial as pessoas de Rodrigo Inojosa, Priscilla Figueredo e Guilherme Filho que tão bem me apadrinharam.

Aos meus colegas de curso que ajudaram a passar por muitos desafios e provas ao longo de toda graduação.

Aos amigos que fiz, ao mudar de cidade e ficar longe da minha família, vocês foram a peça fundamental no processo de adaptação na nova jornada. Em especial agradeço aos amigos que fiz na pandemia e que hoje me acompanham as sextas feiras no bar do peludo depois de uma longa semana de trabalho.

E por fim, gostaria de agradecer a mim mesmo por ter persistido e acreditado na realização desse sonho de me tornar engenheiro químico.

Levanta cedo pra labuta que eu tô pronto
Eu muito conto com meu Deus que tá no céu
Eu tenho a senha pra correr em todo canto
Humildade e a disciplina dos sermão que mãe me deu

Eu tenho a senha e meu cavalo já tá pronto
E em cima da sela eu mostro que eu mereço meu troféu

João Gomes (2021)

RESUMO

O presente trabalho traz uma abordagem de uso de ferramentas da qualidade para resolução de problema do cotidiano do engenheiro . O estudo da perda de eficiência no sistema de secagem e desumidificação de ar permite compreensão de como a ferramenta diagrama de Ishikawa se conecta com outras ferramentas de resolução de problemas (brainstorm e matriz de prioridade) e ferramentas de uso do engenheiro (fluxograma de engenharia e comparação de valores de projeto e valores reais). Ao conciliar dados coletados em campo com conceitos de mecânica dos fluídos, psicometria, processo de adsorção e conhecimento de tipos e características de ventiladores de pressão positiva, foi possível entender que a causa raiz do problema em questão era uma obstrução no sistema que estava localizada no equipamento separador de mistura. O uso das ferramentas também foi fundamental para redução dos custos causados pela baixa na eficiência na secagem e desumidificação do ar e nos custos de manutenção. A parada da planta que deveria ser de 5 dias foi reduzida para 2 dias.

Palavras-chave: Desumidificação, Diagrama de Ishikawa, Separador de mistura

ABSTRACT

The present work presents an approach to the use of quality tools to solve the daily problem of the engineer. The study of the loss of efficiency in the air drying and dehumidification system allows an understanding of how the Ishikawa diagram tool connects with other tools of problem solving (brainstorm and priority matrix) and tools for the engineer to use (engineering flowchart and comparison of design values and actual values). By reconciling data collected in the field with concepts of fluid mechanics, psychometry, adsorption process and knowledge of types and characteristics of positive pressure fans, it was possible to understand that the root cause of the problem in question was an obstruction in the system that was located in the mixing separator equipment. The use of tools was also fundamental to reduce costs caused by the low efficiency in drying and dehumidification of the air and maintenance costs. The plant downtime that should have been 5 days has been reduced to 2 days.

Keywords: Dehumidification, Ishikawa diagram, Mixing separator

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Desumidificador do tipo cilindro rotativo	16
Figura 2	Desumidificador do tipo torre	17
Figura 3	Esquema das etapas do processo das cinéticas de adsorção	19
Figura 4	Carta psicrométrica com as etapas do processo de desumidificação e secagem do ar	21
Quadro 1	Fluxograma de Ishikawa	22
Figura 5	Representação do sistema de secagem e desumidificação de ar em estudo	24
Quadro 2	Fluxograma de Ishikawa com as causas mais prováveis	26
Figura 6	Carga do ventilador em uso no sistema de desumidificação e secagem do ar	27
Figura 7	Dado da vazão no ano de janeiro 2020 antes do problema de obstrução	28
Figura 8	Dado de vazão do mês de janeiro de 2022	28
Figura 9	Gráfico do ponto de orvalho	29
Figura 10	Manômetro utilizado para medições de pressão	30
Quadro 3	Matriz de Ansoff adaptada para priorização da causa	31
Figura 11	Ventilador em uso x Valores de Carga	31
Figura 12	Ponto de medição de pressão entrada da bateria de água gelada	33
Figura 13	Fluxograma do processo com pontos de medição de pressão	33
Figura 14	Tubulação do separador de mistura	35
Figura 15	Interior do separador de mistura	36
Figura 16	Gráfico da pressão do ventilador antes e após intervenção para limpeza do separador de mistura	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tabela com os valores de pressão do sistema

34

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

BOPET	Tereftalato de polietileno biaxialmente orientado
PET	Polietileno tereftalato
PI1	Indicação de pressão 1
PI2	Indicação de pressão 2
PI3	Indicação de pressão 3
PI4	Indicação de pressão 4
PIA	Indicação de pressão A
PIB	Indicação de pressão B
DPI1	Diferencial de pressão 1
P&ID	Diagrama de Fluxo de Processo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. PROCESSO DE DESUMIDIFICAÇÃO DE AR	14
2.2. TIPOS DE DESUMIDIFICADORES	14
2.2.1. Desumidificadores do tipo tambor rotativo.....	14
2.2.2. Desumidificador do tipo torre	15
2.3. EQUIPAMENTOS DE SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO DE AR EM LEITO FIXO	16
2.3.1. Filtros.....	16
2.3.2. Bombas de sucção.....	16
2.3.3. Sistema para redução de temperatura do ar ambiente.....	16
2.3.4. Colunas de adsorção.....	17
2.3.4.1. Adsorção.....	17
2.4. PSICOMETRIA E SECAGEM DE AR.....	19
2.5. FERRAMENTAS PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	20
2.5.1. Diagrama De Ishikawa	20
2.5.2. Matriz De Ansoff.....	21
2.6. FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA (P&ID).....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1. METODOLOGIA	22
3.2. ESTUDO DO SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO E SECAGEM DE AR	23
3.3. DESCRIÇÃO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS NO SISTEMA	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. SINTOMAS DO PROBLEMA.....	26
4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	28
4.2.1 Diagrama de Ishikawa	28
4.2.2. Fluxograma de engenharia	28
4.2.3. Medições com manômetros.....	28
4.3. ANÁLISE DAS CAUSAS E AÇÕES	30
4.3.1. Compressor	30
4.3.2. Obstrução no sistema.....	31
5. CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

Nos mais diversos meios produtivos, existem processos que são essenciais para o bom funcionamento e garantia da qualidade dos produtos. Nas indústrias atuais, o controle de umidade através de desumidificadores de ar é algo que assegura uniformidade em produtos, equipamentos, ambientes e matérias-primas. Desumidificadores de ar de diferentes tamanhos, tipos, modelos e aplicações vêm se tornando uma boa solução para problemas causados por excesso de umidade ambiente por condições climáticas ou de processo, sendo o mecanismo mais eficaz e robusto ao combate de altas umidades (CATERMO,2022).

Desumidificadores de ar controlam a umidade relativa do ambiente e evitam a formação de bolores, propagação de certas bactérias que se apropriam de ambientes pouco ventilados e ou úmidos. Além do mais, são comumente utilizados para processos de secagem de matérias-primas. Na indústria dos plásticos essa etapa é importante pois alguns polímeros como poliésteres ou poliamidas, sofrem hidrólise durante seu processamento. Dentre os desumidificadores, o de tipo contínuo em torres é comumente utilizado nas indústrias por seu baixo custo e eficiência (SPINACÉ, 2005).

No contexto de indústria 4.0 visa-se sempre perder o menor tempo possível por manutenção de forma corretiva dos equipamentos, sendo preferível as manutenções preditivas e preventivas. No sistema em estudo, no entanto, a manutenção de alguns equipamentos necessita de parada da linha de produção por mais de um dia, e muitas vezes de difícil acesso. Por esse motivo, o sistema foi projetado para se ter o menor número de intervenções corretivas possível. Todavia, no período que compreende os anos de 2020 a 2022, houve perda sem causa aparente na eficiência do sistema de desumidificador de ar (DE JESUS, 2022).

Para resolução de problemas, existem uma gama de ferramentas que facilitam o entendimento do problema e proporcionam um método eficaz de abordagem para se disciplinar o trabalho e aumentar a chance de chegar à causa raiz. De forma paralela, algumas ferramentas da qualidade são utilizadoras de métodos de coleta de dados que cruzam manuais operacionais e dados do processo produtivo. Dentre as ferramentas mais utilizadas para processamento de dados e informação se tem hoje o diagrama de Pareto, Histograma , Diagrama de Ishikawa , Diagrama de dispersão , Gráficos de Controle, Fluxograma, 5W2H, Brainstorm e ciclo PDCA (COSTA,2019).

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como espinha de Peixe ou diagrama de causa e efeito é uma ótima ferramenta da qualidade que auxilia e ajuda a levantar causas raízes de um problema. Por meio de análises de fatores que envolvem execução de processos, essa ferramenta proposta por Kaoru Ishikawa na década de 60 busca analisar os efeitos de fatores que podem ter modificado o resultado do processo considerado. Na metodologia, todo problema está atrelado a uma causa específica, e toda causa deve ser analisada e testada, uma a uma, a fim de eliminar causas não prováveis e encontrar a causa do problema (COSTA,2018).

Como o problema do sistema era contemplado por uma das 6 causas apontadas por Ishikawa, foi proposto um Brainstorm para construção do diagrama e levantamento das possíveis causas da perda de eficiência. Além disso, foi feito uma

matriz de priorização para as causas mais prováveis de serem a causa raiz do problema. Além disso, foi necessário o uso de fluxogramas de engenharia para verificação dos pontos de medição e uso de manômetro para coleta de medições no campo (DANIEL, 2014).

O trabalho corrente, faz referência ao estudo de caso de uma indústria de fabricação de filmes BOPET, localizada na Região Metropolitana do Recife. O processo de fabricação de filmes biorientados é procedido por uma etapa de secagem dos grãos de PET, comumente chamados de chips ou pallets. Esse sistema de secagem tem uma torre de leito fixo de polímero alimentada de forma constante com polímero no topo e ar seco e desumidificado em contracorrente. A etapa de secagem se faz necessária, pois para o processamento dos plásticos um alto teor de umidade resulta em acréscimo nas degradações hidrolítica. Na indústria em questão o grão de PET não seco fica fragilizado, pois o chip de polímero passa por mecanismos extrusão e alongamentos longitudinais e transversais que podem causar quebras das cadeias e conseqüentemente uma não formação do filme (SANTOS,1999).

Objetivo Geral

Apresentar metodologia de solução de problema de perda de eficiência em sistema de secagem de ar contínuo de três torres e propor solução para evitar problemas futuros.

Objetivos Específicos

- Usar da ferramenta P&D para localização de pontos de coleta
- Monitorar a pressão através dos manômetros visando identificar o problema
- Utilizar a ferramenta de qualidade, diagrama de Ishikawa para resolução do problema

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada uma visão geral sobre os sistemas de secagem e desumidificação de ar para processos industriais, bem como uma discussão dos equipamentos e principais operações unitárias envolvidas no processo. Além disso, será apresentado uma revisão das metodologias de análise de problema.

2.1. PROCESSO DE DESUMIDIFICAÇÃO DE AR

Para indústria é de importância se ter as melhores condições de estabilidade de processo. Para isso, são montados sistemas para homogeneizar as condições de entrada de matérias-primas, controle de equipamentos e área produtivas. O controle da qualidade do ar é uma das etapas fundamentais em processos produtivos que usam o ar para controlar a quantidade de umidade de produtos ou matérias-primas (VIANA,2017)

O desumidificação do ar consiste na redução da água presente no ar, ou seja, redução da umidade absoluta. Comumente, essa etapa de desumidificação é regida por uma etapa que tem como base o processo de adsorção, operação unitária comumente usada na remoção de um dado elemento de uma mistura (LUZ,2012).

2.2. TIPOS DE DESUMIDIFICADORES

Define-se secador de ar como sendo uma máquina que aspira e reduz o teor de umidade do ambiente de forma significativa. Nas indústrias, secadores de ar são essenciais para higiene, desumidificação, controle de umidade e manipulação de produtos. A depender do nível de umidade do ambiente recomenda-se o uso de um sistema para redução de umidade. Dentro dos secadores de ar, pode-se dividir em algumas categorias, são elas a de unidade de secagem refrigeradas (ciclismo ou não ciclismo) e unidades de secagem dessecantes (tipo torre e tipo tambor rotativo) (DAMMA,2022)

O presente texto aborda os desumidificadores que utilizam unidades secantes, e tem um foco principal para os do tipo coluna.

2.2.1. Desumidificadores do tipo tambor rotativo

Na configuração de desumidificadores do tipo cilindro rotativo, utiliza-se um cilindro rotativo impregnado com material dessecante. O fluxo de ar dessa vez é externo e passa através de um cilindro, sendo desumidificado, enquanto o fluxo de ar de reativação, aquecido, circula em contracorrente, removendo a umidade (CAMARGO,2003).

Rotores dessecantes são desenvolvidos para fazer, com eficácia, a remoção máxima da umidade do ar. Para atender os requisitos específicos da secagem do ar e de controle de umidade, eles são produzidos em todo mundo em diferentes configurações. No entanto, todos tem em comum um disco construído com um material resistente, com sua borda alargada, impregnada de substâncias adsorventes, como sílica gel, alumina ativada, zeólita, e carvão ativado. Assim, a desumidificação é realizada através de um processo físico, pelo qual as moléculas de água ficam retidas na superfície dos poros dos materiais dessecantes (VIANA,2007).

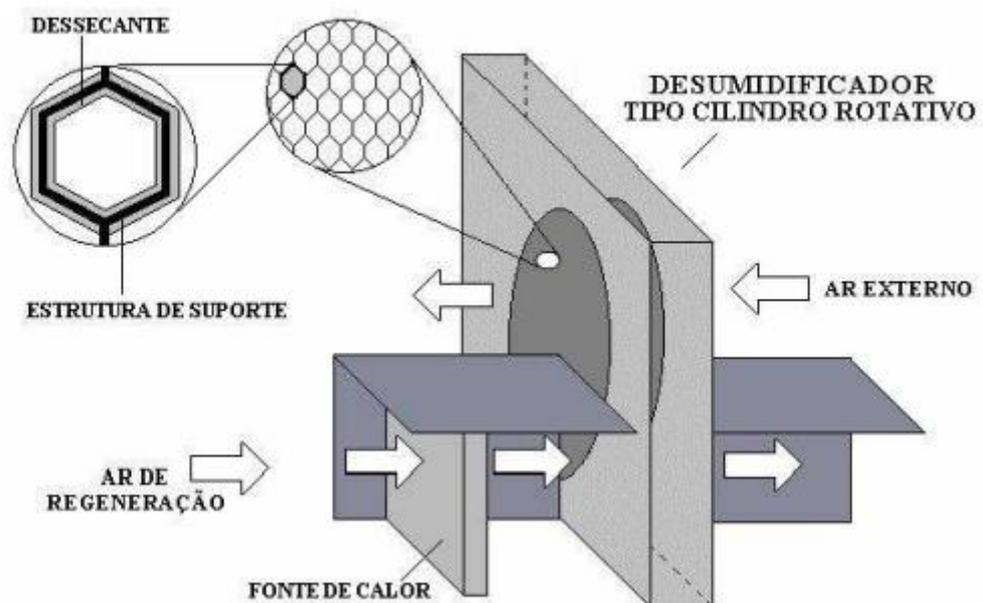
Viana (2007), também diz que os rotores desse tipo de desumidificador devem ser da seguinte forma:

O rotor dessecante, quando em posição de operação, é instalado de maneira que parte dele se localiza na corrente de ar que se dirige ao local a ser climatizado, e a outra parte, algumas vezes menor, fica localizado na direção da corrente de ar contrária a ser retirada do ambiente, permitindo a sua regeneração. Para eficiência da operação, faz-se necessário as vedações da borda do equipamento sejam bem ajustadas para evitar vazamentos e infiltrações.

O rotor dessecante cumpre sua função rodando lentamente, fazendo com que o fluxo de ar externo passe através do material dessecante para ser desumidificado e, posteriormente, receba um fluxo de ar, em sentido contrário, artificialmente aquecido para realizar o processo de dessorção.

Esse tipo de desumidificador pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Desumidificador do tipo cilindro rotativo.



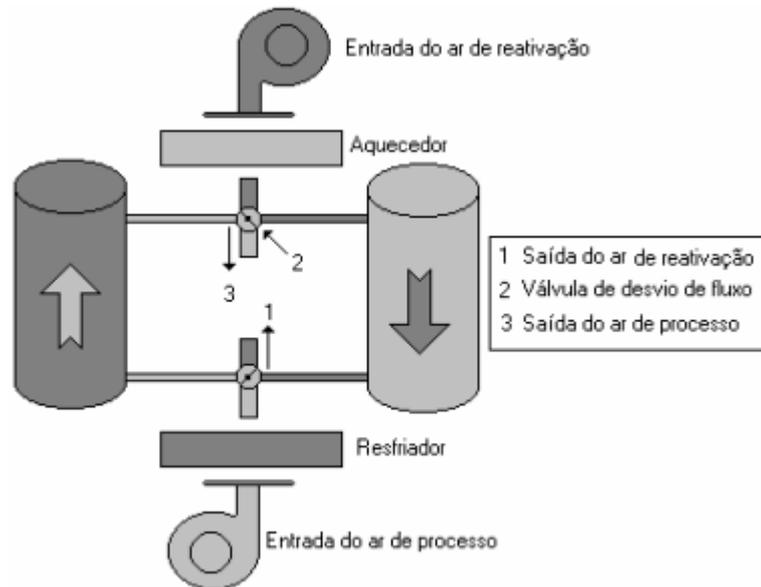
Fonte: Camargo (2003)

2.2.2. Desumidificador do tipo torre

Neste tipo de desumidificador um dessecante sólido, tal como sílica gel, é empacotado em torre vertical. O ar do processo passa através da torre transferindo umidade para o dessecante seco. Após saturação do dessecante o ar de processo é desviado para a segunda torre e a primeira é aquecida e purgada de sua umidade via corrente de ar de reativação. Esse tipo de sistema permite atingir temperaturas de ponto de orvalho muito baixas (CAMARGO, 2003).

Esse processo pode ser mais bem visualizado na Figura 2.

Figura 2: Desumidificador do tipo torre



Fonte: Camargo (2003)

2.3. EQUIPAMENTOS DE SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO DE AR EM LEITO FIXO

A seguir uma lista dos equipamentos mais comuns utilizados em desumidificadores de ar de leito fixo.

2.3.1. Filtros

Equipamento utilizado para reter impurezas e contaminantes do ar ambiente, além disso o uso de um ar limpo reduz os custos de manutenção e aumenta a qualidade do produto. O filtro proporciona um ar mais limpo para o processo, além disso evita o acúmulo de sujeira e conseqüentemente a proteção do equipamento. A falta desse elemento pode trazer prejuízos financeiros e de rendimento do equipamento (Alves,2016).

2.3.2. Bombas de sucção

São equipamentos que, por meio de rotação de um rotor equipado por pás convenientemente distribuídas e acionado por um motor. Transformam energia mecânica em energia potencial de pressão e em energia cinética. Essas energias fazem o ar se deslocar de forma constante ao longo do sistema, vencendo distâncias e resistências do sistema. Uma característica muito importante para esse tipo de bomba é que seu deslocamento acontece sempre de forma constante, ou seja, sempre trabalha para entregar um volume de ar constante, mesmo que isso implique um aumento na sua carga (COSTA, 2019).

2.3.3. Sistema para redução de temperatura do ar ambiente

De forma geral, antes do processo de adsorção, os sistemas de desumidificação do ar tem uma etapa de redução da temperatura do ar e aumento da sua umidade relativa, visando condensação de parte da água presente. Para isso, são usados diversos equipamentos para troca térmica entre o ar e um fluido de temperatura inferior (AYOADE,1986).

2.3.4. Colunas de adsorção

Os processos industriais que utilizam adsorção como método de separação, são classificados de acordo com o seu modo de operação. Industrialmente, o modo mais utilizado é o de coluna empacotada com partícula de adsorvente (leito fixo), através do qual a mistura vai percolar, adsorvendo e removendo um ou mais componentes da mistura. Após um dado tempo de contato adsorvente-adsorvato a coluna atinge a saturação e perde a capacidade de reter os componentes de interesse, sendo necessário trocar o adsorvente ou regenerá-lo (LUZ,2012).

Para entendimento do processo de desumidificação é fundamental entendimento da operação unitária de adsorção.

2.3.4.1. Adsorção

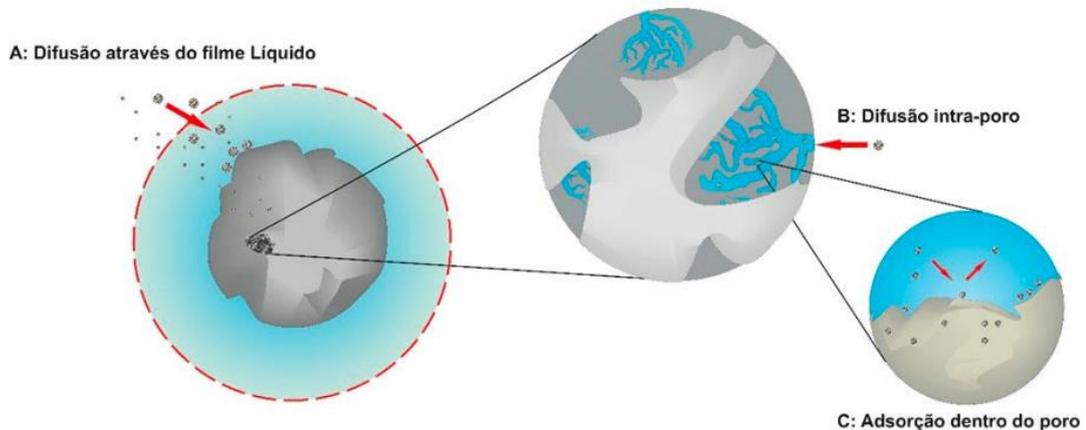
A adsorção é uma operação unitária de transferência de massa do tipo sólido líquido, no qual explora a habilidade de certos sólidos em concentrar substâncias líquidas ou gasosas na sua superfície, o que permite separá-las dos componentes dessas soluções. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for essa superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas. A espécie acumulada na interface do material é o adsorvato e a superfície sólida no qual se acumula o adsorvato o adsorvente (MOREIRA,2008).

No processo de adsorção a interação é puramente superficial, e isso se deve pelo fato dos átomos da superfície do adsorvente estarem tão conectados à estrutura do material quanto os átomos mais internos, o que gera um "potencial" interação da superfície com o adsorvido. Esse processo, pode ser resumido por meio de três fases principais: (NASCIMENTO et al., 2014).

- a. Transferência de massa externa: Afetada pela concentração de adsorvato e agitação, logo um aumento da concentração do soluto pode acelerar a difusão na superfície do sólido.
- b. Difusão no poro: Considerada como etapa determinante, especificamente em adsorventes microporosos.
- c. Difusão na superfície: Consiste no transporte da molécula através da camada adsorvativa da superfície do macro poro, sendo significativa apenas para espécies de grande adsorvidade a baixas temperaturas.

O mecanismo citado acima está evidenciado na Figura 3.

Figura 3: Esquema das etapas do processo das cinéticas de adsorção.



Fonte: Nascimento et al. (2014)

Os diferentes valores de tempo de adsorção sugerem a existência de diferentes graus de interação entre os compostos e o sólido adsorvente. Existem dois tipos de interações diferentes que podem ocorrer neste processo, são elas a fisissorção e quimissorção (NASCIMENTO et al, 2014).

A fisissorção corresponde a uma natureza de interação puramente eletrostática entre o composto e os átomos superficiais do sólido. Esse fenômeno se origina pela atração de dipolos permanentes ou induzidos, sem a interação dos orbitais atômicos ou moleculares das espécies comprometidas. Recebe também o nome de adsorção de Van der WAALS (YOUNG, 1962).

A quimissorção, corresponde a uma interação de tipo químico, em que os elétrons de ligação do sólido e do gás passam por um reordenamento e os respectivos orbitais trocam de forma ou grau de ocupação, de modo semelhante a uma reação química. Nem sempre a alteração eletrônica é completa no sentido de ligações covalentes ou iônicas, podendo ser somente uma modificação ou deformação parcial dos orbitais (YOUNG, 1962, RUTHVEN, 1984).

Diversos fatores influenciam a adsorção, eles podem ser em função das características do adsorvato, do adsorvente, da solução e do ambiente em que o processo está sendo feito. No caso dos fatores relacionados com o adsorvato, o tamanho das partículas, a solubilidade no solvente e os grupos funcionais presentes são os fatores mais importantes. O tamanho das moléculas define a acessibilidade aos poros do adsorvente, desta forma moléculas pequenas como o fenol podem acessar microporos, enquanto matéria orgânica natural e bactérias tem acesso apenas a mesoporos e macroporos. A solubilidade, por outro lado, influi sobre a hidrofobicidade do soluto e, conseqüentemente, as interações hidrofóbicas entre este e o adsorvente. Da mesma forma, os grupos funcionais apresentam grande influência sobre as interações adsorvato-adsorvente (MORENO-CASTILLA, 2004).

- Área superficial: A área superficial específica é proporcional a intensidade da adsorção. Em partículas maiores, a resistência à difusão é menor, e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção. (NASCIMENTO,2020).

O tamanho do micro poro determina a capacidade das moléculas de soluto de acessá-lo, de modo que a distribuição de tamanho do poro é outra propriedade importante na caracterização de adsorventes. (SILVA,2006)

- Temperatura: Reações de adsorção são exotérmicas, assim sendo, o aumento de temperatura diminui o grau de adsorção. Em geral, as alterações na entalpia de adsorção são da ordem dos calores de condensação, e assim, variações reduzidas de temperatura não alteram significativamente o processo de adsorção. (SILVA 2006).

- pH: O pH afeta a adsorção na medida que determina o grau de distribuição das espécies químicas. A intensidade do efeito pode ser maior ou menor conforme adsorvente, uma vez que as cargas da superfície do adsorvente dependem da sua composição e das características da superfície. (NASCIMENTO,2012).

2.4. PSICOMETRIA E SECAGEM DE AR

Durante o processo de secagem de ar é importante ter conhecimentos em psicometria para acompanhamento das etapas. Com o auxílio da carta psicrométrica é possível prever valores de temperatura, umidade e ponto de orvalho ao longo do sistema.

De forma esquemática, caracteriza-se um processo de secagem de ar da seguinte forma: (BRITTO,2010)

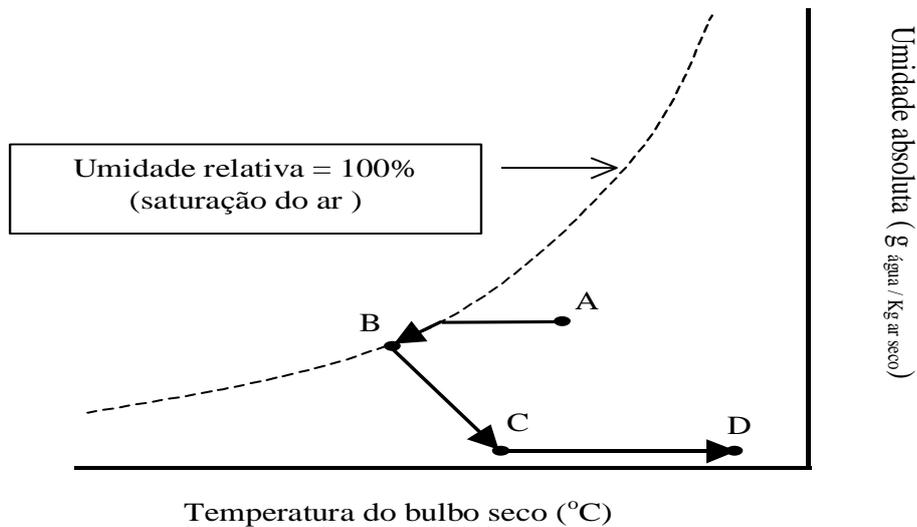
O item 1, refere-se a passagem do ar por um trocador de calor com temperaturas entre 5°C e 8°C. Há uma condensação do ar, onde o ar esfria até atingir a curva de UR 100%, visto na carta psicrométrica pelo trecho descrito de A->B. Nesta altura tem-se início a retirada do excesso de ar.

No item 2, o ar passa por recipientes com agente secante (sílica/ zeólita/ alumina) onde ocorre o fenômeno de adsorção. Este processo por ser exotérmico libera calor que gera aumento da temperatura do ar, e é evidenciado pelo trecho B->C.

Ao terminar o processo de adsorção, faz-se necessário a redução na umidade relativa, evidenciada pelo item 3, a partir do aquecimento do ar a uma temperatura próxima a 170°C seguindo o caminho C->D.

Esse processo está esquematicamente representado na Figura 4.

Figura 4: Carta psicrométrica com as etapas do processo de desumidificação e secagem do ar



Fonte : Autor (2022)

Uma particularidade da etapa de adsorção de água na desumidificação do ar é sua temperatura de trabalho. Este é um fenômeno cuja natureza é favorecido pela diminuição de temperatura, assim como a velocidade das reações químicas são favorecidas pelo aumento de temperatura. Assim, a bateria de água gelada tem uma função adicional, além de condensar parte da umidade do ar, que é de permitir uma maior eficiência do sólido adsorvente. Pois, quanto menor a temperatura maior será a capacidade de reter umidade (BRITTO,2010).

2.5. FERRAMENTAS PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

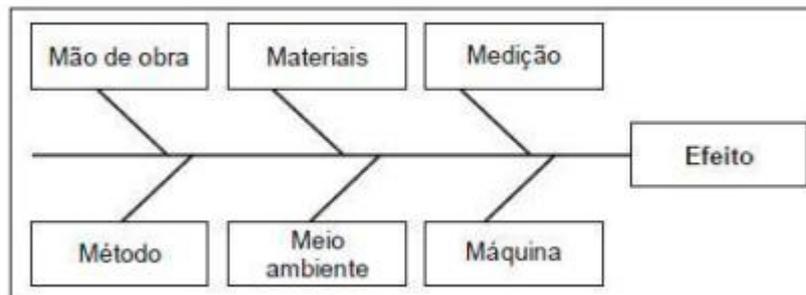
A crescente complexibilidade da análise de problemas trouxe como consequência um aumento no número de ferramentas disponíveis para solução multidisciplinar. Assim, ferramentas que antes eram ditas exclusivas de uma área passaram a ser utilizadas para as mais diversas aplicações industriais ou do cotidiano de empresas e pessoas. Essas ferramentas, muita das vezes são constituídas de elementos gráficos que buscam deixar evidente o que se pretende solucionar e analisar. De modo geral, toda ferramenta tem o papel de facilitar o entendimento do problema, para proporcionar um método de abordagem que seja eficaz e direcione para uma causa raiz que solucione o problema (DANIEL, 2014).

2.5.1. Diagrama De Ishikawa

Conhecido pelos nomes de “Diagrama de Causa e Efeito”, “Diagrama de Espinha de Peixe” ou “Diagrama 6M”, o diagrama de Ishikawa foi proposto pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa em 1943. O diagrama é utilizado para representação da relação causa efeito de problemas e suas respectivas causas. Ele é formulado por um brainstorming que reúne as causas mais prováveis que afetam o resultado esperado no processo. Na estrutura básica da ferramenta, os problemas são divididos em 6 “espinhas” diferentes: método, meio ambiente, máquina, medição, mão de obra e máquina. O diagrama permite uma estruturação hierárquica das causas

potenciais de um determinado problema ou oportunidade de melhoria, assim como efeitos na qualidade do produto. Geralmente os diagramas são feitos em meio a equipes de trabalho que se reúnem para levantar as causas mais prováveis do problema a ser solucionado. Uma representação gráfica do fluxograma pode ser observada no Quadro 1 (DE SOUZA, 2014).

Quadro 1: Fluxograma de Ishikawa



Fonte : Daniel (2014)

2.5.2. Matriz De Ansoff

A matriz de Ansoff, também designada como matriz produto-mercado, foi desenvolvida por Igor Ansoff nos anos 60 do século XX. É muito utilizada para ajudar gestores a definir as opções estratégicas da organização, de forma a cumprir a sua missão e atingir os objetivos definidos (BERNARDO,2019).

2.6. FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA (P&ID)

O fluxograma de engenharia é a ferramenta que concentra todos os mecanismos que fazem parte da manufatura em um ou vários itens. A representação dos processos e as diferentes estruturas são representadas através de blocos amparados por norma internacionais que facilitam a interpretação em diferentes partes do mundo. Nesses fluxogramas, geralmente se tem informações de localização de equipamentos e parâmetros críticos para o processo (BARBAT,2005).

Em um P&ID todos os principais equipamentos no processo estão representados no diagrama junto com a descrição do equipamento. E para cada equipamento existente, um número será atribuído. Os fluxos são mostrados e identificados por um número, uma descrição de condições de processo e composição química de cada fluxo também é atribuído ao fluxograma. Valores de utilidades como (vapor, ar comprimido, temperatura de óleos, resistências elétricas) são fornecidos e mostrados. Lógicas básicas de controle, ilustram a estratégia que deve ser usada durante processo. Por fim, nos equipamentos de processo o P&ID indica a estrutura do equipamento, e por vezes é possível identificar o tipo de equipamento apenas pela representação gráfica (ALMEIDA, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. METODOLOGIA

O presente trabalho, é um estudo de um problema crônico que ocorreu em uma linha de secagem e desumidificação de ar para processo de secagem em uma linha de fabricação de filmes BOPET. A metodologia utilizada para solução do problema está descrita abaixo seguindo 4 passos.

1 – Foi estudado todo o sistema de desumidificação e secagem de ar, todos os parâmetros e equipamentos foram descritos de forma a se entender o processo e analisar possíveis pontos de falha.

2 – Levantamento do problema: Uma vez introduzido o sistema, foi levantado o problema de perda gradativa de vazão e aumento da carga das bombas, o que estava gerando desligamentos sem explicações, gráficos e dados históricos do sistema foram levantados e analisados.

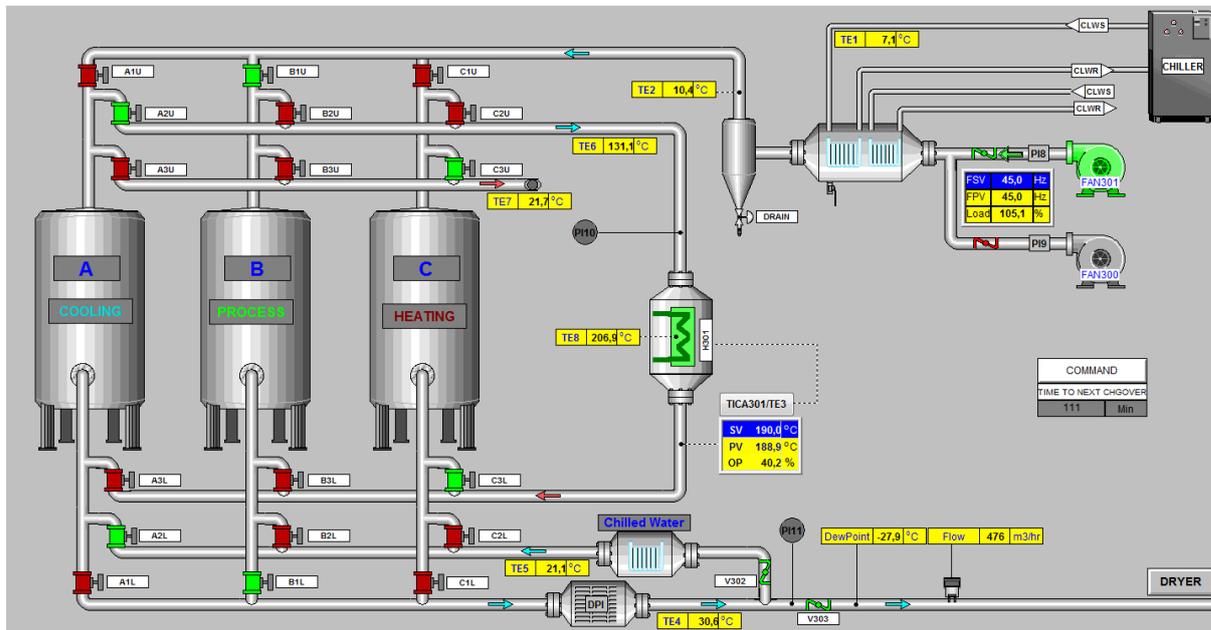
3 – Metodologia para resolução: Para solução foi utilizado um diagrama de Ishikawa com levantamento dos possíveis pontos de falha do sistema, e usada uma matriz 2x2 para priorização dos problemas a serem abordados.

4- Ferramentas: Para teste das hipóteses levantadas, foi necessário uso de ferramentas como fluxograma de engenharia, medições em campo, observação de comportamento de gráficos de tendência, uso de manômetros e necessidade de construção de novos pontos de medição.

3.2. ESTUDO DO SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO E SECAGEM DE AR

O sistema em estudo é representado pela Figura 5.

Figura 6: Representação do sistema de secagem e desumidificação de ar em estudo



Fonte : Autor (2022)

O sistema de desumidificação de ar estudado é composto por três torres que trabalham alternadamente de acordo com a saturação do agente secante. Para melhor entendimento seguem as etapas fundamentais.

Etapa 1: O ar ambiente é aspirado por um compressor de ar (Ventilador1 ou Ventilador2), passa então por uma bateria com dois circuitos de água gelada para refrigeração (10°C), sendo o primeiro alimentado por água gelada vinda das utilidades (água a 8°C) e o segundo por um chiller (água a 5°C). O processo de refrigeração faz-se necessário para diminuição da umidade absoluta do ar através de redução da temperatura do ar até uma temperatura menor que o seu ponto de orvalho. Essa diminuição faz maior parte da umidade presente no ar condensar e ser retirada por um dreno na bateria, ficando assim com uma corrente de ar com menos água.

Etapa 2: O ar passa então para o separador de umidade, vaso com válvula de purga para remover partículas de água que estão em suspensão do ar.

Etapa 3: O ar pré-desumidificado é segue para uma torre (dita torre em processo) para outra parte das moléculas de água que não foram removidas na etapa anterior sejam absorvidas por um material absorvente presente na torre. Após essa etapa a água está praticamente eliminada do ar e o ponto de orvalho deve cair para um valor $\leq -70^{\circ}\text{C}$. Nessa etapa se atinge uma menor umidade absoluta.

Etapa 4: Após passar pela torre em processo, o ar passa em um filtro para eliminar impurezas que podem ter sido carreadas da torre, e tem seu fluxo dividido por uma

válvula manual que divide o ar entre processo e regeneração. Antes de chegar à coluna o ar desumidificado passa por uma resistência elétrica, e segue para secagem do polímero em uma torre.

Etapa 5: Já o fluxo de ar que segue para regeneração (torre em aquecimento) e resfriamento passa primeiro por um trocador de calor e tem uma redução de temperatura, para então passar pela coluna dita em resfriamento (necessário já que o processo de adsorção é favorecido em baixas temperaturas).

Etapa 6: O ar segue então para uma resistência, onde AQUECE até aproximadamente 180°C, e segue para a torre para realizar o processo de dessorção e posteriormente ser exaurido para o ambiente.

3.3. DESCRIÇÃO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS NO SISTEMA

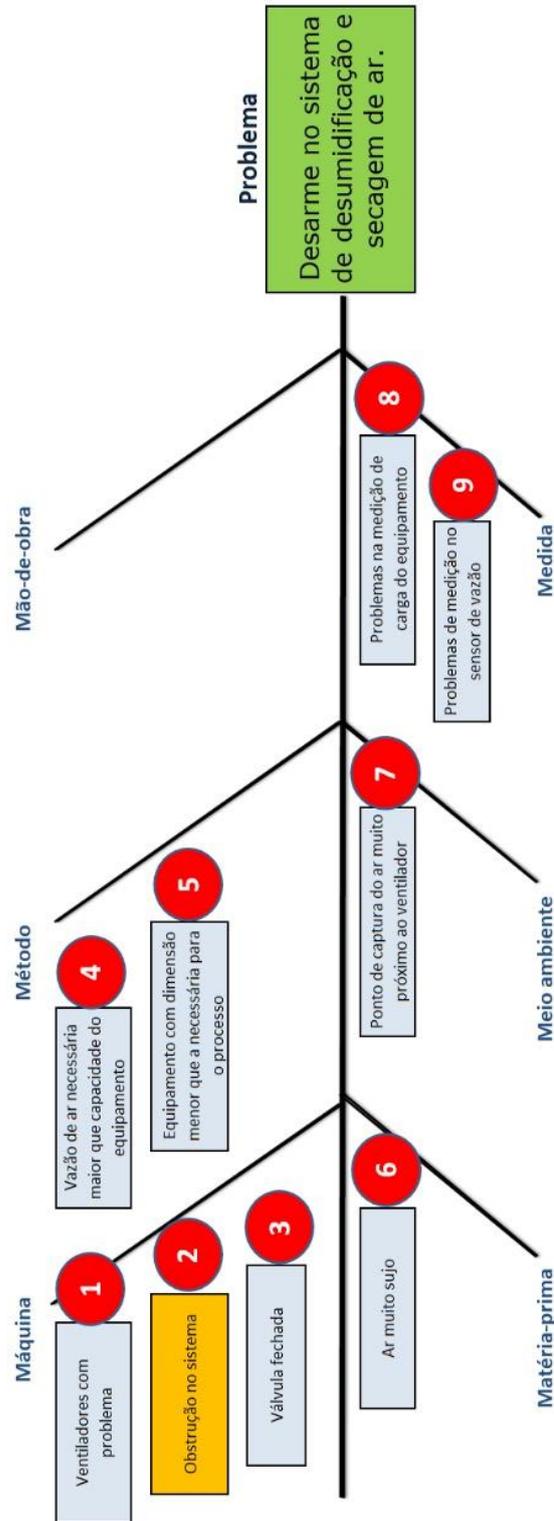
No ano de 2021 foi notado um aumento na incidência de desarme sem causa identificada do ventilador do sistema. Foi observado aumento sem explicação na carga, fazendo o equipamento desarmar por sobrecarga. Como medida de contenção a produção fez a redução na frequência de 50 Hz para 49 Hz.

Ao passar dos meses foi visto que mesmo diminuindo a frequência do ventilador o valor de carga permaneceu acima do histórico, chegando-se a valores de frequência muito baixos e não aceitáveis para o processo. Com a condição de trabalho do ventilador menor que o recomendado foi sentido diminuição da vazão, e conseqüentemente o sistema estava apresentando perda gradativa de sua capacidade de processamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados foi feito um mapeamento do problema. Em seguida, identificou-se qual eram as principais possíveis causas, ponto de partida para a elaboração um diagrama de Ishikawa. Do diagrama, mostrado no Quadro 2, foi feita priorização dos problemas e conseqüentemente uma abordagem em cada um deles focando em seus maiores impactos.

Quadro 2: Fluxograma de Ishikawa com as causas mais prováveis

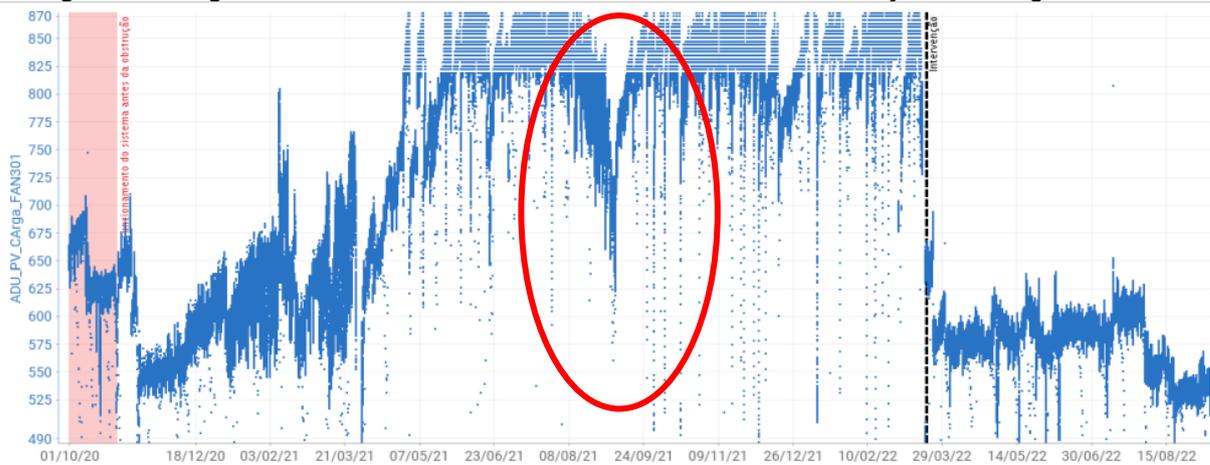


Fonte: Autor (2022)

4.1. SINTOMAS DO PROBLEMA

A Figura 6, mostra como o valor da carga do compressor aumentou nos meses de dezembro/2020 a março/2022. Além disso, é possível notar as diminuições da frequência dos ventiladores visando minimizar o número de desligamentos e consequentes perdas do processo. Uma dessas diminuições de frequência pode ser facilmente visualizada no mês agosto/2021, mês em que os valores de carga do ventilador apresentaram uma redução, e logo em seguida atinge novo patamar.

Figura 6: Carga do ventilador em uso no sistema de desumidificação e secagem do ar.

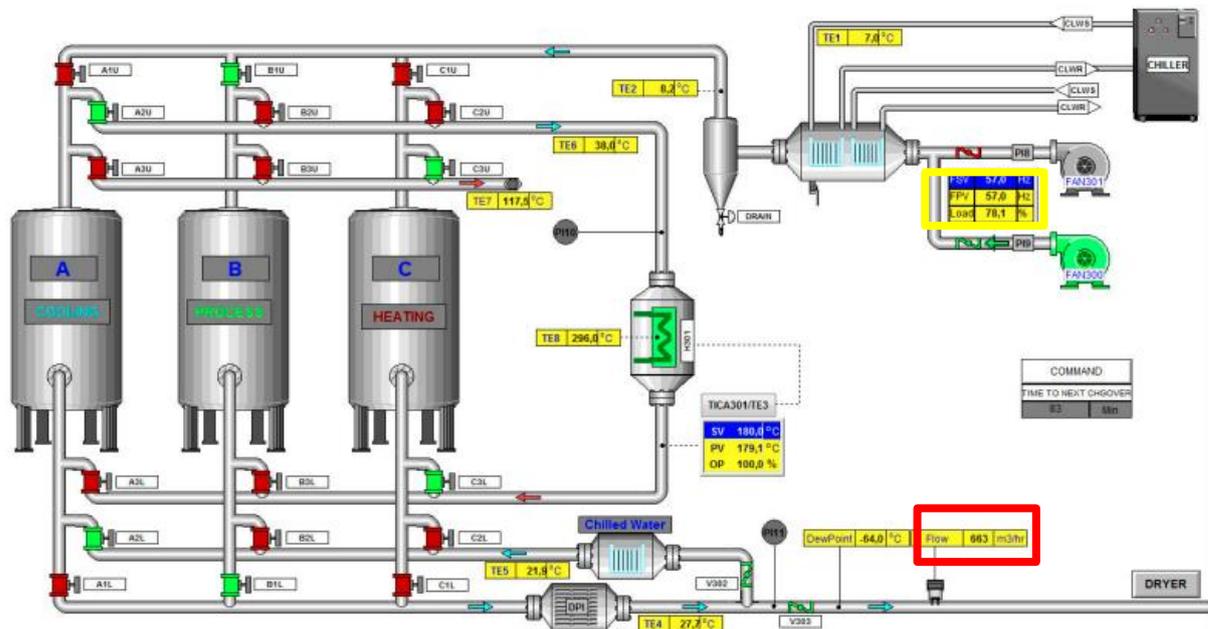


Fonte: Autor (2022)

Com o tempo, foram feitas sucessivas diminuições de frequência do ventilador, e como consequência direta, houve uma diminuição na vazão de ar do processo. Visto que a quantidade de ar entregue ao sistema era cada vez menor, e como o ventilador continuava trabalhando de forma forçada (carga elevada), o processo se tornou cada vez mais ineficiente, sendo necessário trabalhar para se encontrar a causa raiz por trás do problema.

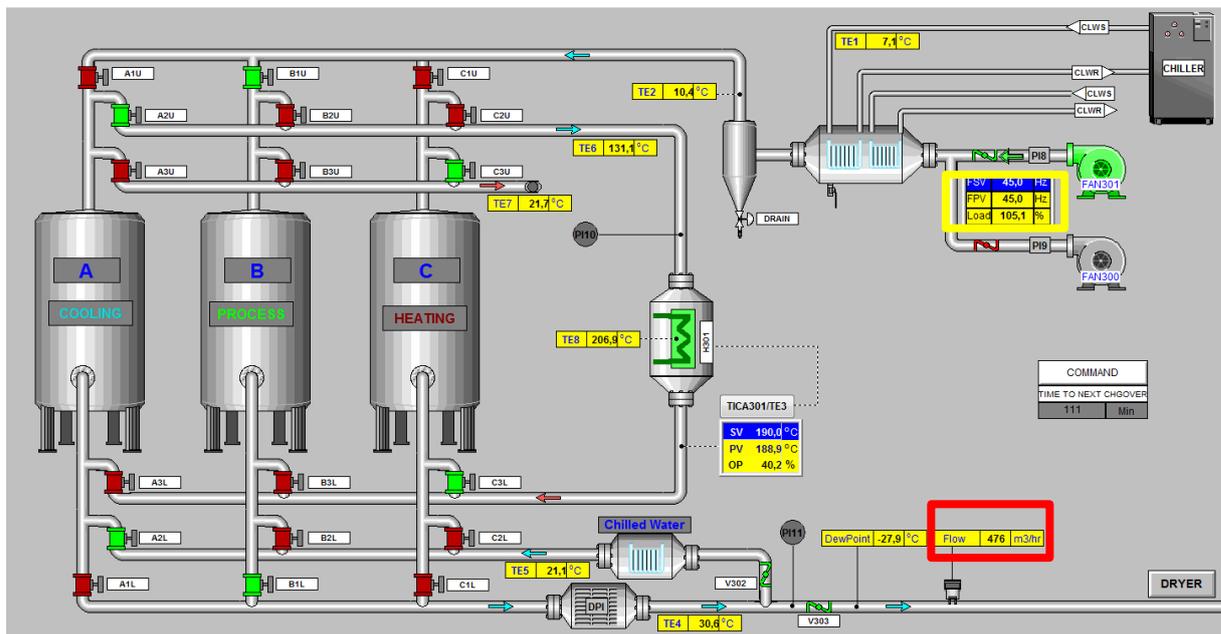
As reduções de frequência por sua vez, tiveram impactos na vazão de ar enviada para processo. Como pode ser mostrado nas Figuras 7 e 8. Na Figura 7, do mês de janeiro 2020, pode-se observar a frequência ventilador(57 Hz) mais elevada, destacada em amarelo, e o valor de vazão $663 \text{ m}^3/h$ em vermelho. Por outro lado, a Figura 10 do mês de janeiro de 2022, o valor de frequência alcançou 45 Hz e a vazão em $476 \text{ m}^3/h$, resultando, no período de 2 anos, uma redução de 28,2% na vazão de ar para processo.

Figura 7: Dado da vazão no ano de janeiro 2022 antes do problema de obstrução



Fonte : Autor (2022)

Figura 8: Dado de vazão do mês de janeiro de 2022

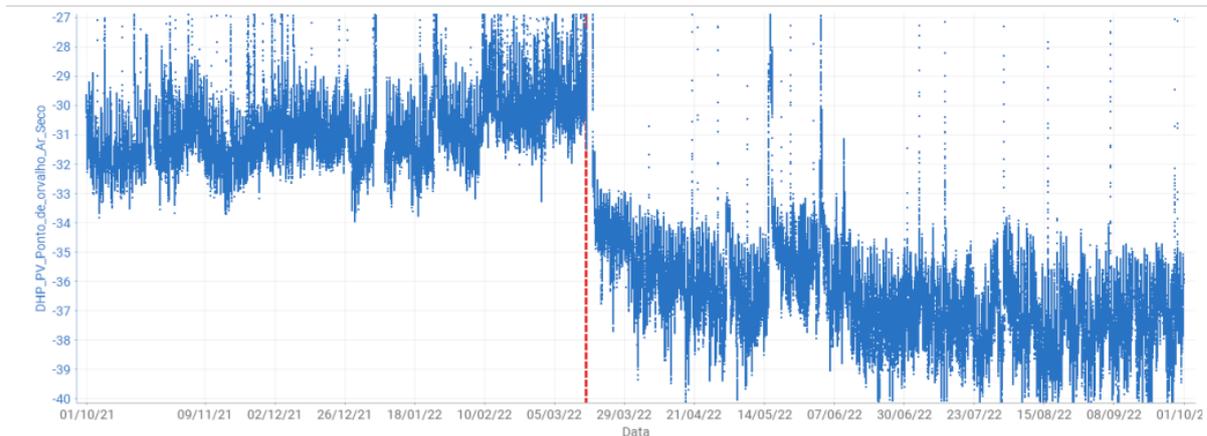


Fonte : Autor (2022)

Para minimizar o impacto da vazão de ar para processo, foi feita regulagem na válvula que deriva fração do ar para processo e outra para regeneração do sistema, reduzindo assim a vazão de ar da regeneração.

Um impacto que não foi calculado com a diminuição de ar para regeneração do processo, foi o aumento do ponto de orvalho, como mostrado na Figura 11. Os valores de ponto de orvalho, de outubro/2021 a outubro/2022, mostram como os valores de vazão de ar correto para processo são fundamentais. Tomando como referência a data de março/2022, data da intervenção para limpeza e desobstrução do sistema, é possível observar que os valores ponto de orvalho tem uma diferença de aproximadamente 10°C. Isso se dá devido a regularização na vazão de ar para regeneração após março de 2022.

Figura 9: Gráfico do ponto de orvalho.



Fonte: Autor (2022)

4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Para resolução do problema foi utilizado a ferramenta de controle da qualidade conhecida como diagrama de Ishikawa, bem como uso de fluxograma de engenharia e medições com auxílio de manômetro.

4.2.1 Diagrama de Ishikawa

Meses depois de ser identificado pela produção o problema não tinha nenhuma causa aparente. Para se chegar à causa raiz, foi montado junto com a produção e equipe de engenharia um diagrama de ISHIKAWA, como já mostrado na figura 7, com os pontos mais prováveis que estavam gerando os desarmes.

4.2.2. Fluxograma de engenharia

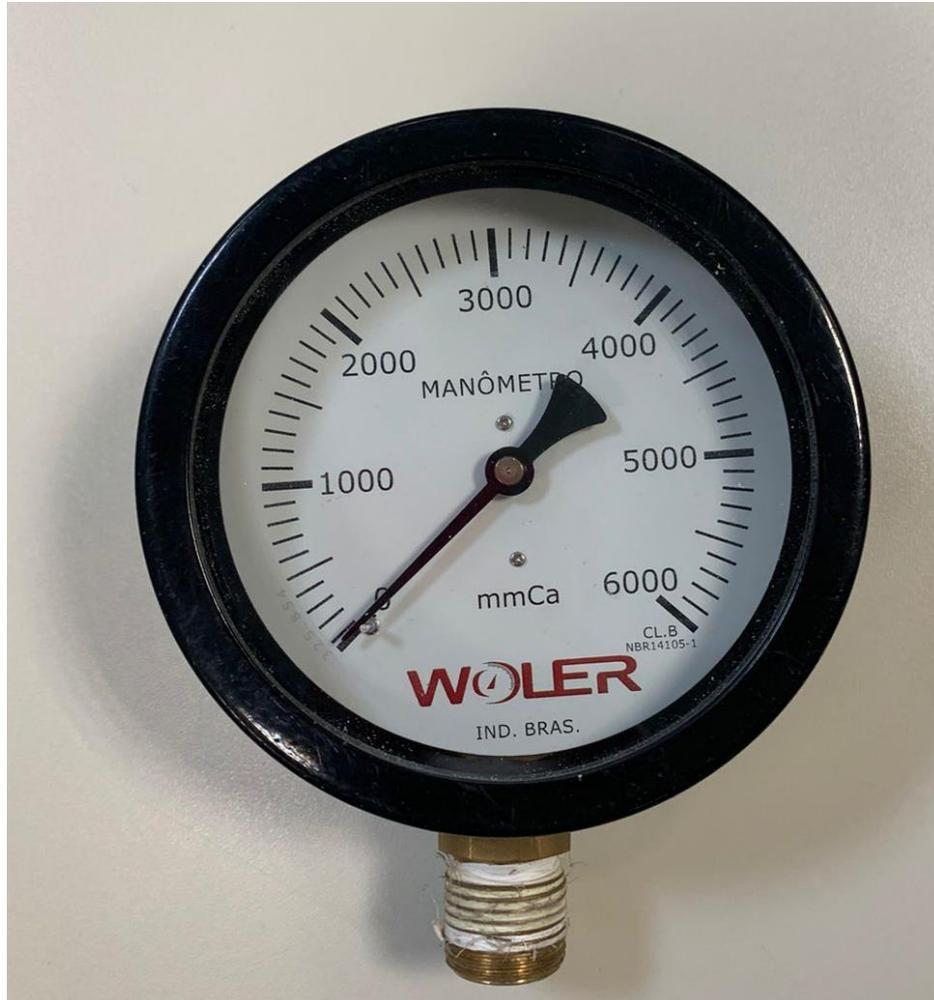
A utilização do fluxograma de engenharia foi necessária para checar os valores de pressões e temperaturas de projeto do sistema. Com o auxílio do P&D, foi possível localizar pontos para coleta de dados para análises do processo e identificação de desvios.

4.2.3. Medições com manômetros

O sistema tinha vários tipos de manômetros de diferentes escalas de fundo e unidades, para padronização das leituras de pressão foi usado um manômetro de escala variando de 0mmca a 6000mmca para realização de medições de pressão e

identificação dos pontos de perda de carga no sistema. Ele está representado pela Figura 10, vista abaixo.

Figura 10: Manômetro utilizado para medições de pressão.



Fonte: Autor, 2022

4.3. ANÁLISE DAS CAUSAS E AÇÕES

Para análise das causas foi feito um estudo prévio do sistema foi usada uma matriz de Ansoff adaptada no formato 2x2, como mostrado na Quadro 3.

Quadro 3: Matriz de Ansoff adaptada para priorização da causa.

		DIFICULDADE	
		1	2
IMPACTO	1	CAUSA 1	CAUSA 10
	2	CAUSA 2	CAUSA 8

Fonte: Autor, 2022

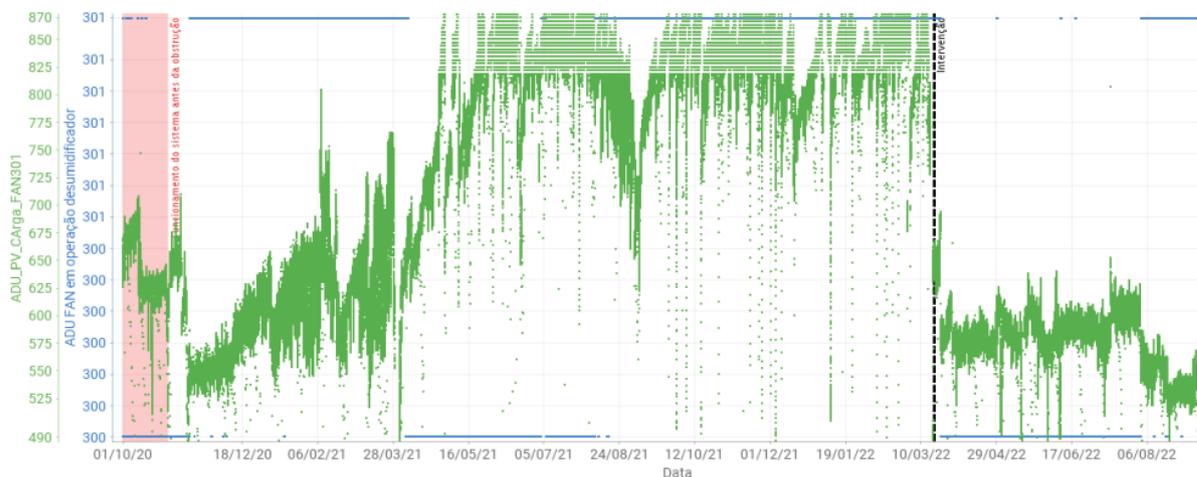
da matriz foi visto que as causas seriam abordadas da 1 para 2, 10 e em seguida a 8, de acordo com o grau de impacto e da dificuldade. Se necessário uma nova matriz com mais colunas deve ser adicionada.

4.3.1. Compressor

Por se tratar de um sistema com dois compressores que trabalham de maneira alternada, ou seja, um é reserva do outro. A ação para essa causa levantada mais prática consistiu na inversão desses dois ventiladores e avaliação do gráfico de carga (Figura 11). Esperava-se que se o problema estivesse localizado no compressor, a carga apresentaria uma mudança de patamar expressiva.

Os compressores são representados pelos números 300 e 301 no gráfico, e quando estão em funcionamento tem uma linha azul no sentido horizontal. Para testar a hipótese que os ventiladores tinham cargas de trabalho diferentes, foi decidido inverter o ventilador 300 para o ventilador 301. Essa ação aconteceu em dezembro de 2020, no entanto, os valores de carga continuaram a subir até nova inversão em março de 2021. No meio tempo, o primeiro ventilador foi totalmente revisado e não foram encontradas anormalidades.

Figura 11: Ventilador em uso x Valores de Carga



Fonte: Autor, 2022

Com a ação de inversão foi observado que os valores de carga entre os ventiladores são normais, ou seja, a probabilidade do problema se localizar em um único ventilador ou nos dois era muito baixa. Logo, a hipótese mais provável foi a de existência de uma obstrução no sistema.

4.3.2. Obstrução no sistema

A causa levantada, obstrução no sistema, foi algo de ampla complexibilidade, e precisou de um aprofundamento melhor para o entendimento. Sabia-se que a obstrução poderia ter acontecido em qualquer parte da tubulação ou equipamento pertencente ao processo de secagem e desumidificação de ar. Abaixo estão listados os possíveis pontos.

- Filtro pré compressor de ar
- Entrada da bateria de água gelada
- Interior da bateria de água gelada
- Saída da bateria de água gelada
- Separador de mistura
- Torre A
- Torre B
- Torre C
- Trocador de Calor
- Filtro pós torre em processo
- Resistência elétrica
- Entrada do ar no processo

Outra consideração importante é que a tubulação de todo o sistema tem o mesmo diâmetro, com exceção dos equipamentos listados. Além do mais, o ventilador utilizado no sistema é uma bomba de lóbulos que tem as seguintes características:

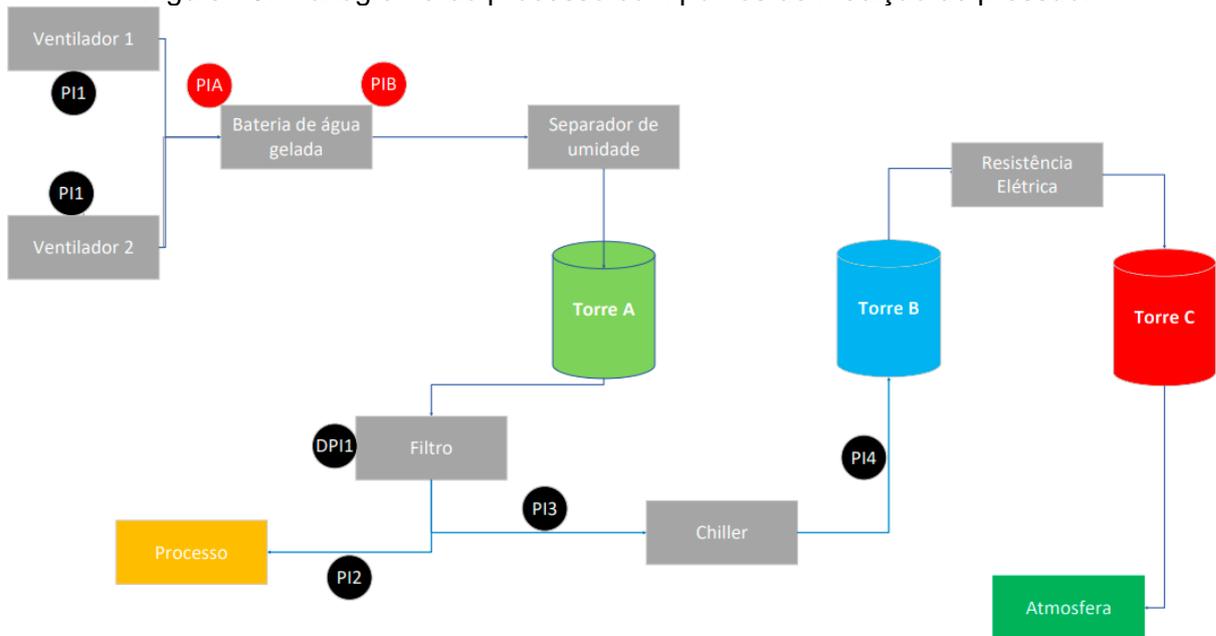
- Bombeamento suave
- Deslocam sempre a mesma quantidade de fluido
- Tem fluxo linear
- Não tem pulsação
- Para uma mesma frequência uma mesma vazão é assegurada

Diante dessas informações, sabendo que o ar é compressível e tendo o conhecimento básico de mecânica dos fluidos é de se esperar que:

- Pressões variem ao longo da tubulação;
- Pressão na saída do ventilador deve ser a maior;
- Todo equipamento deve ter um diferencial de pressão que é uma medida indireta da perda de carga;
- Existe perdas de cargas após passagem do ar pelos equipamentos;
- A perda de carga pode ser correlacionada com a pressão, já que uma maior perda de carga é também resulta em perda de pressão;
- Antes da obstrução a pressão deve ser maior que a medição no ponto anterior.

Com isso, e o uso do fluxograma de engenharia, foi visto em campo que os seguintes pontos, representados na Figura 13 de medição estavam disponíveis. Todavia, foi necessário se fazer mais dois furos na bateria de água gelada, uma vez que o equipamento era o mais robusto do sistema, e tinha-se uma forte suspeita de ser o ponto de obstrução. Esses furos foram feitos na entrada e na saída, com o mesmo diâmetro e de forma a serem um espelho do outro, como representado na Figura 14.

Figura 13: Fluxograma do processo com pontos de medição de pressão.



Fonte: Autor (2022)

Figura 14: Ponto de medição de pressão entrada da bateria de água gelada.



Fonte: Autor (2022)

Pontos de medição de pressão estão representados por PI, diferencial de pressão DPI e os novos pontos por PIA e PIB.

Com os pontos de medição disponíveis e com o uso de um manômetro foram feitas medidas de pressão em todo o sistema. Os dados estão representados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Valores de pressão do sistema.

Ponto	Pressão (mmca)
PI1	3400
PIA	3100
PIB	3050
DPI1**	600
PI2	510
PI3	500
PI4	50

** O ponto DPI1 é um filtro que estava sem elementos, e seu diferencial é zero, no entanto, utilizamos o valor de entrada de 600mmca como referência.

Um fator agravante para o problema é o tamanho dos equipamentos. Nenhum apresentava histórico de abertura e precisavam de dias de trabalho e muita mão de obra.

Analisando os dados de pressão, foi visto uma diferença muito grande entre ponto pós ventilador e a saída da torre em processo. Isso indica, que a obstrução provavelmente está em algum desses equipamentos. Podendo ser torre (A, B, C), separador de umidade, bateria de água gelada ou um trecho de tubulação.

Os dados de pressão disponíveis mostraram que a bateria de água gelada tinha diferencial de pressão de 50mmca, o que é considerado um valor baixo. Ou seja, pouco provável que o ar encontrava uma resistência elevada para passar pelo equipamento. Em contrapartida, considerando os pontos PIB e DPI1 a perda no trecho separador de mistura e torre era de 2450mmca, indicando o ponto de obstrução entre esses dois elementos.

Uma vez localizado o possível ponto de obstrução, foi levado em consideração que o sistema não poderia ficar parado por mais de dois dias. Como as torres tinham alto volume de material secante, estavam encamisadas, precisavam de material reserva para reposição após serem abertas e de mais de dois dias de trabalho o trecho escolhido para ser aberto foi onde se localizava o separador de mistura, mostrado na Figura 15.

Figura 15: Tubulação do separador de mistura.



Fonte: Autor (2022)

Uma vez alinhada todas as ações foram programadas a abertura do separador de mistura para uma parada programada nos dias 16/03/2022 e 17/03/2022.

Ao desmontar o separador foi visto um acúmulo de sujeira no seu interior, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Interior do separador de mistura.

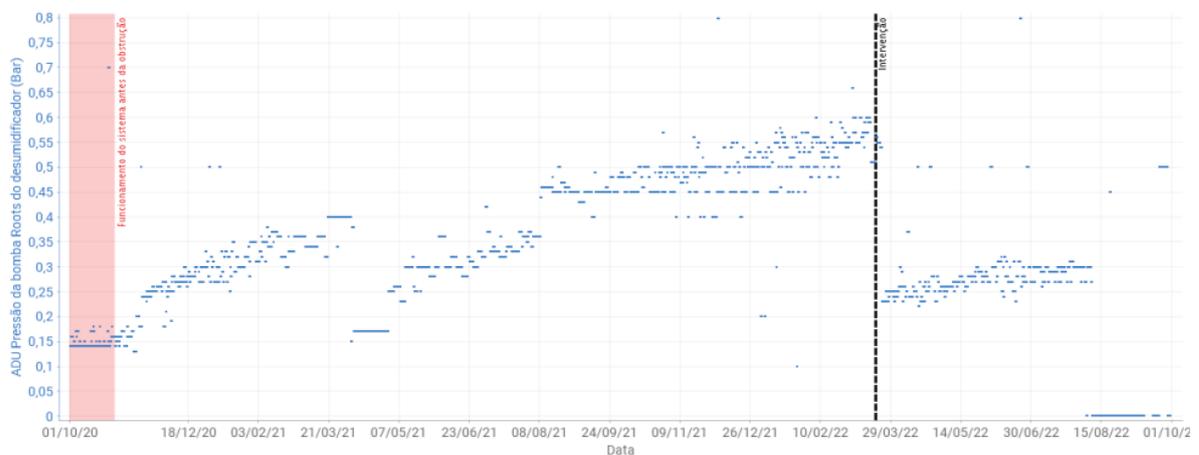


Fonte: Autor (2022)

O separador foi então levado para ser lavado com hidro jato de água, e posto novamente no lugar no dia 17/03/2022. As imagens do processo de limpeza e desmonte do equipamento estão listadas nos Apêndices de 1 a 5.

Após limpeza, foi visto que o ventilador voltou a funcionar com baixos valores de carga para frequências mais altas sem desarmar, como demonstrado na Figura 6. Além disso, a vazão do sistema aumentou, como pode ser observado na Figura 17. E por fim, os valores de pressão pós ventilador diminuíram de picos de 0,6 bar para 0,2 bar. O que indica uma menor perda de carga ao longo do sistema e justifica a carga do ventilador em valores mais baixos.

Figura 17: Gráfico da pressão do ventilador antes e após intervenção para limpeza do separador de mistura.



Fonte: Autor, 2022

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi possível fazer uso de ferramentas da qualidade para resolução de problemas do cotidiano do engenheiro. Foi estudado um sistema de secagem e desumidificação de ar, pertencente a uma planta de BOPET, que tinha um problema de perda de eficiência sem causa aparente. Entre dezembro de 2020 a março de 2022 o sistema apresentava gradativamente uma degradação na capacidade de secagem e desedificação que comprometia o funcionamento da planta. Para resolução do problema, foi criado um brainstorm, e foram levantados os principais pontos possíveis para o problema.

Dentro os pontos levantados, os mais prováveis foram usados para montar um diagrama de Ishikawa. Dos pontos, o de falha no ventilador que fazia captação de ar do sistema e o de possível obstrução em um dos muitos equipamentos existentes ou tubulação foram os de maior destaque. No entanto, para melhor assertividade foi montada uma matriz 2x2 para priorização dos pontos a serem abordados. Em uma primeira tentativa, foi feita inversão dos ventiladores e revisão, e não foi vista nenhuma melhoria significativa no processo. Já em relação a segunda causa mais provável, foi feito um estudo em campo com o fluxograma de engenharia, a fim de identificar o ponto com maior perda de carga. Nos estudos, foi utilizado um manômetro e uma mangueira, e foi verificado que o equipamento chamado de desumidificador de mistura tinha um diferencial de pressão muito alto, ou seja, tinha um valor de perda de carga muito maior que a maioria dos outros equipamentos. Logo, no mês de março de 2022, foi feita uma intervenção para limpeza e desobstrução do trecho. Após a limpeza foi visto que o problema foi resolvido, e o sistema teve um aumento de 30% na sua eficiência. No que tange os métodos utilizados para resolução do problema, foi possível entender como a ferramenta diagrama de Ishikawa pode ser um excelente auxiliar para listagem de causas possíveis.

Por fim, conhecimentos em engenharia como leitura de P&ID, análise de gráficos, interpretação de sintomas de equipamentos e uso de instrumentos de medições aplicados a conceitos básicos de fenômenos de transporte são fundamentais para guiar a solução de problemas do cotidiano do engenheiro. Além disso, foi possível revisar disciplinas de transferência de massa e calor, bem como as operações unitárias de secagem, adsorção, dessorção, condensação e fenômenos de transporte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Alessandro Ramos. **Elaboração de projetos de Engenharia de Processo: Introdução ao AutoCAD Plant 3D**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.
- ALVES, José Roberto Pereira et al. **Obtenção de filtros de ar com fibra polimérica para equipamento de ar-condicionado com fluido refrigerante variável (VRF)**. 2016.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986
- BARBAT, Mauro Medeiros et al. **Desenvolvimento de um jogo sério para ensino sobre a elaboração, operação e manutenção de plantas industriais**. *Scientia Plena*, v. 11, n. 8, 2015.
- BERNARDO, Maria do Rosário Matos. **Matriz Ansoff**: explicação. 2019.
- BRITTO, J. Fernando B. Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCC*, v. 45, p. 35-41, 2010.
- CAMARGO, José Rui. **Sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo aplicados ao condicionamento de ar**. 2003.
- CATERMO. [Site institucional]. Disponível em : <[https://catermo.com.br/desumificadordearindustrial#:~:text=Desumificador%20de%20ar%20industrial%20da,ideais%20\(50%20a%2060%25\).](https://catermo.com.br/desumificadordearindustrial#:~:text=Desumificador%20de%20ar%20industrial%20da,ideais%20(50%20a%2060%25).)> Acesso em: 27 outubro 2022.
- COSTA, Taiane Barbosa da Silva; MENDES, Meirivone Alves. Análise da causa raiz: Utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura. **Anais do X SIMPROD**, 2018.
- COSTA, Pedro Lins de Moura Martins da. **Aplicação da ferramenta FMEA em um sistema de ar comprimido de uma indústria farmacêutica**. 2019.
- CORREA, Priscilla Ferreira; DE OLIVEIRA, Luciana Bazante. Aplicação das ferramentas da qualidade na solução de problemas de contaminação em uma fábrica de chocolate. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 2, n. 2, 2017.
- CUADROS GUTIERREZ, Paul Fernando. **Análise de trocadores de calor compactos para desumidificação de ar**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DANIEL, Erica A.; MURBACK, Fábio Guilherme Ronzelli. Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade. *Gestão & Conhecimento*, v. 8, n. 2014, p. 1-43, 2014.
- DAMMA. [Site institucional]. Disponível em: <<https://damma.ind.br/tipos-de-secadoresdearcomprimido/#:~:text=Os%20secadores%20de%20ar%20comprimido>>

%20podem%20ser%20divididos,dentro%20da%20m%C3%A1quina%20para%20sec ar%20o%20ar%20recebido.> Acesso em: 27 outubro 2022.

DE SOUZA, Roger Maliski et al. Resolução do Alto Nível de Ruídos na Área de Abate e Manufatura de Animais: aplicação do Diagrama de Ishikawa para a melhoria do ambiente de trabalho. **Revista ESPACIOS**| Vol. 35 (Nº 12) Año 2014, 2014.

DE JESUS, Gustavo Pereira et al. DESAFIOS DA MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0. **Em Foco: Revista da Faculdade de Tecnologia SENAI" Roberto Mange"**, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2022.

DUARTE-NETO, J. F. et al. Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 9, n. 1, p. 51-59, 2014.

João Gomes. **Eu tenho a senha Ao vivo**. São Paulo, 2021.

LUZ, Adriana Dervanoski da et al. **Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos BTX multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos**. 2012.

MOREIRA, Sarah de Abreu. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 2008.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2020.

SANTOS, Amélia SF; AGNELLI, José Augusto M.; MANRICH, Sati. Estudo da influência de resíduos catalíticos na degradação de plásticos reciclados (Blenda HDPE/PP e PET) provenientes de lixo urbano. **Polímeros**, v. 9, p. 189-194, 1999.

SILVA, João Vitor Rodrigues da et al. **Um levantamento de ferramentas da qualidade aplicadas para atender aos requisitos da ISO 22000 em panificadoras**. 2022.

SILVA, Marco Antonio Carlos da. **Avaliação experimental e modelagem do processo contínuo de adsorção do preto remazol b em coluna de leito fixo de carvão ativado**. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOARES, Alvaro Guedes et al. Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina. **Universidade Estadual de Campinas e Instituto de Física Gleb Wataghin. Campinas-SP-Brasil. Tese de Doutorado**, 2001.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, v. 28, p. 65-72, 2005.

VIANA, Fernando Cesar de Abreu et al. Modelagem, simulação e análise de sistemas de condicionamento de ar puramente dessecante, por compressão de vapor e híbrido. 2017.

APÊNDICES



Apêndice 1: Separador de mistura sendo retirado



Apêndice 2: Interior do separador de mistura após primeira limpeza



Apêndice 3: Interior do separador de mistura após abertura do sistema



Apêndice 4: Tubulação do separador de mistura por onde passa o ar



Apêndice 5: Entrada do separador de mistura