



**RAFAELLA BASTOS CAVACA**

**PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O AUMENTO DE  
CAPACIDADE E CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE  
PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

**LAVRAS - MG  
2022**

**RAFAELLA BASTOS CAVACA**

**PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O AUMENTO DE CAPACIDADE E  
CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Daniel Augusto Pereira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2022**

**RAFAELLA BASTOS CAVACA**

**PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O AUMENTO DE CAPACIDADE E  
CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA**

**PROPOSALS IMPROVEMENTS TO RELIABILITY AND CAPACITY  
INCREASE OF THE PRODUCTION SYSTEM OF A CHEMICAL INDUSTRY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 29 de abril de 2021.  
Prof. Dr. Daniel Augusto Pereira UFLA  
Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva UFLA  
Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco UFLA

Prof. Dr. Daniel Augusto Pereira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer meus pais Clicia e Mário e ao meu irmão Igor por todos os ensinamentos e características que contribuíram para ser quem eu sou e pelo suporte e incentivo inigualável ao longo deste trajeto.

A toda a minha família que esteve presente direta ou indiretamente ao longo deste período sempre me apoiando. Em especial a minha prima Giovana, que esteve presente nos momentos difíceis, nos dramas, nos choros e nas conquistas.

Aos amigos que adquiri durante a graduação e aqueles que já estavam presentes na minha vida, em especial a Camila, por todas as experiências, companhia e apoio. Sem vocês teria sido infinitamente mais difícil.

A todos os professores que compartilharam os conhecimentos necessários para que eu desempenhe o meu melhor no ambiente profissional.

E por fim, a BASF e aos meus colegas de trabalho. Em especial ao Thomas e ao Wilson por toda paciência, conhecimento transmitido e ajuda durante o meu período de estágio.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado em parceria com a empresa BASF S.A., na sede de Guaratinguetá, São Paulo. Nele foi desenvolvido um estudo com foco sobre a linha de produção de fungicidas, visando os dois atuais maiores produtos de venda no mercado, Orkestra e Abacus, a fim de identificar potenciais de melhorias no processo de fabricação dos mesmos através do aumento de capacidade e confiabilidade da planta. Após a análise em toda a etapa de fabricação, foi constatado alguns potenciais de melhorias em relação: ao trocador de calor; purgo-bomba; etapa de dosagem do Pyraclostrobim; variáveis de temperatura. Com isso, foi implementado a mudança do setpoint de temperatura durante o processo de dosagem do Pyraclostrobim, resultando em diminuição de perda da matéria prima e tempo total do processo. A substituição do trocador de calor já foi precificada e terá seu investimento pago em dois meses devido ao benefício estimado. As outras medidas propostas ainda estão sobre análise para implementação. É esperado que após a realização de todas as melhorias propostas que o processo se torne mais eficiente e gerando produtos de melhor qualidade.

**Palavras-chave:** Automação; Indústria química; Otimização de processo.

## ABSTRACT

This work was carried out in partnership with the company BASF S.A., at the headquarters in Guaratinguetá, São Paulo. In it, a study was developed focusing on the fungicide production line, aiming at the two current biggest selling products on the market, Orkestra and Abacus, in order to identify potential for improvements in the manufacturing process of the same by increasing capacity and reliability of the plant. After analyzing the entire manufacturing stage, some potential improvements were found in relation to: the heat exchanger; pump purge; Pyraclostrobrim dosing step; temperature variables. With this, a change in the temperature setpoint was implemented during the Pyraclostrobrim dosing process, resulting in a reduction in raw material loss and total process time. The replacement of the heat exchanger has already been priced and will have its investment paid off in two months due to the estimated benefit. The other proposed measures are still under review for implementation. It is expected that after carrying out all the proposed improvements, the process will become more efficient and generate better quality products.

**Keywords:** Automation; Chemical industry; Process optimization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reator industrial.....	13
Figura 2 – Trocador de calor tipo placa.....	15
Figura 3 – Trocador de calor tipo casco-tubo.....	16
Figura 4 - Resistência x Temperatura RTD.....	17
Figura 5 – Sensor de temperatura PT100 .....	17
Figura 6 - Válvula com atuador pneumático .....	18
Figura 7 - Purgador.....	19
Figura 8 - Diagrama de blocos de um controle em malha fechada .....	20
Figura 9 - Ciclo de batelada (lote) da linha de produção.....	24
Figura 10 - Performance do produto Orkestra.....	25
Figura 11 - Performance do produto Abacus.....	26
Figura 12 - Paradas de produção Orkestra.....	27
Figura 13 - Paradas de produção Abacus .....	27
Figura 14 - Falha de equipamento técnico linha de produção SC .....	28
Figura 15 - Histórico de manutenção W8600.....	30
Figura 16 - Controle de temperatura T86001 .....	32
Figura 17 – Alteração de setpoint banho maria.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência dos ganhos dos controladores no sistema. ....	21
Tabela 2 - Método de Ziegler-Nichols .....	22
Tabela 3 - Cronograma de Atividades .....	24
Tabela 4 - Histórico de manutenção .....	30
Tabela 5 - Comparação tipos de trocador de calor .....	31
Tabela 6 – Estatística temperatura T86001 .....	33
Tabela 7 – Dosagem de Pyraclostrobim.....	33
Tabela 8 – Estudo dosagem com setpoint a 88 °C .....	35
Tabela 9 – Estudo dosagem com setpoint a 93 °C .....	35
Tabela 10 – Custo trocador de calor casco-tubo .....	36

## **ABREVIATÓES**

BASF Badische Anilin & Soda Fabrik

$K_{pu}$  Ganho supremo

$K_p$  Ganho proporcional

$K_i$  Ganho integral

$K_d$  Ganho derivativo

PI Proporcional - Integral

PD Proporcional -Derivativo

PID Proporcional, Integral e Derivativo

$P_u$  Período supremo

RTD Detector de temperatura de resisténcia

$^{\circ}\text{C}$  Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Objetivos Gerais.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Processos químicos industriais.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Excelência Operacional.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1. Otimização técnica de processos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Funcionamento de instrumentos, atuadores e controladores .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1. Trocadores de calor .....</b>	<b>15</b>
• Placas .....	15
• Casco-tubo.....	16
<b>2.3.2. Termoresistores (RTD) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3. Válvula de controle.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.4. Purgo-Bomba .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4. Controle .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1. Malhas de controle.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2. Controle PID .....</b>	<b>21</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Descrição do sistema.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Levantamento de dados, análise do sistema e definição de escopo.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Estudo e apresentação de soluções e melhorias.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1. Alterar a localização do trocador de calor e da purgo-bomba.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2. Substituir trocador de calor.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.3. Instalar válvula automática na entrada de vapor do W8600 .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.4. Melhorar controle de temperatura para o W8600 .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.5. Aumentar setpoint de temperatura do banho maria de 88 para 93°C....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.6. Substituir sistema de dosagem do Pyraclostrobim de tambores para isocontainers.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.7. Instalar indicador de vazão na linha do Pyraclostrobim.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.8. Instalar isolamento nas tubulações.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Discussões.....</b>	<b>36</b>
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>

<b>5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO A - Fluxograma do processo.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO B – Fluxograma reator R2020. ....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO C – Fluxograma trocadores de calor.....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A *Badische Anilin & Soda Fabrik* (BASF) é uma indústria química, nascida em 1865 em Ludwigshafen na Alemanha, presente atualmente em mais de oito países, operando em seis segmentos de negócios: produtos químicos, materiais, soluções industriais, tecnologias de superfície, nutrição e cuidados e soluções agrícolas. Suas atividades tiveram início no Brasil há cerca de 110 anos e no momento contam com dez sedes por diferentes estados, distribuídas entre São Paulo, Bahia, Pernambuco e Goiás.

Este trabalho foi elaborado no maior complexo químico da BASF S.A. na América do Sul, responsável pela produção de mais de 1500 produtos de diversos segmentos, localizado na cidade de Guaratinguetá no estado de São Paulo.

O maior segmento de negócio da BASF S.A. é o agrícola, com a produção de fungicidas, herbicidas, inseticidas e soluções biológicas, sementes, produtos de tratamento de sementes e soluções digitais, produtos responsáveis por movimentar grande parte da receita anual da empresa. Portanto, o foco deste trabalho foi na fabricação de fungicidas, importante aliado ao agronegócio para manejo e controle de doenças fúngicas.

Atualmente, os produtos de maior demanda são os fungicidas Orkestra e Abacus, produzidos em torno de 322 e 160 lotes, respectivamente, por ano, média muito superior quando comparado a produção de outros fungicidas do mesmo setor. Como por exemplo, o Pirate, que é feito por volta de 10 lotes por ano. Um lote representa uma quantidade específica de produto acabado em litros, kilogramas ou toneladas.

Tendo em vista a alta demanda desses produtos e a busca pela otimização e eficiência do processo de produção de fungicidas, a gerência da planta contratou o time de Excelência Operacional. Este time conduziu um estudo utilizando da metodologia de otimização técnica de processos para aumentar a confiabilidade e capacidade da planta e qualidade dos produtos. Por se tratar de um processo composto por diversas etapas, foi realizado um estudo minucioso da etapa que estava apresentando os maiores problemas.

Sendo assim, a etapa deste processo estudada foi a que ocorre no reator R2020, equipamento utilizado para conter todas as reações químicas que ocorrem nesta etapa de dispersão, e os equipamentos que influenciam no funcionamento do mesmo. Atualmente, esta fase vem apresentando perdas de matéria prima durante a dosagem de um ativo, golpes de aríete e vazamento nas juntas do trocador de calor, falta de indicadores de vazão, controle ineficiente de variáveis do processo, baixa eficiência térmica nas trocas de calor,

dentre outros problemas. Então, com o intuito de saná-los foram desenvolvidas oito propostas de melhorias que serão discutidas ao longo deste trabalho.

## **1.1 Objetivos Gerais**

O objetivo geral do trabalho é identificar potenciais de melhorias visando o aumento de capacidade e confiabilidade da planta através da análise de uma linha de produção de fungicidas da indústria química BASF S.A., com foco nos produtos Abacus e Orkestra.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Tem como objetivo específico apresentar a alteração do setpoint de temperatura do banho-maria na etapa de dosagem do Pyraclostrobim.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

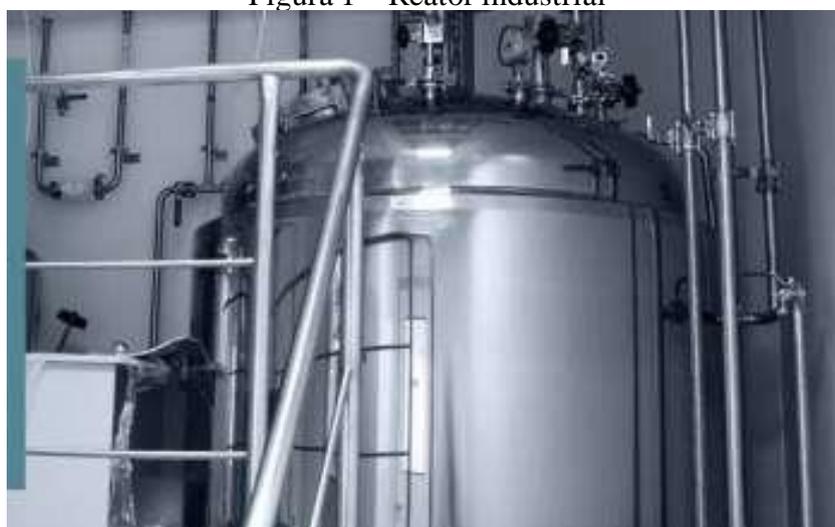
### 2.1. Processos químicos industriais

Os processos químicos industriais são operações ou conjunto de operações que geram alterações químicas ou físicas em substâncias (matérias-primas) com o intuito de transformá-las em um produto final.

Estes podem ser processos contínuos ou por bateladas (lotes). A APICS – *American Production and Inventory Control Society* os define como: “Processo no qual as interrupções são mínimas em qualquer corrida de produção ou entre corridas de produção de produtos que exibam características de processo, tais como líquidos, fibras, pulverizados, ou gases” e “Um processo industrial que prioritariamente programa curtos ciclos de produção de produtos” (apud Fransoo e Rutten, 1993, p.48), respectivamente.

Todo processo em que ocorre reação química é realizado em um reator (Figura 1). Este equipamento é um recipiente projetado especificamente com o objetivo de conter essas reações. Através do fluxograma dos processos (Anexo A) é possível observar este e outros equipamentos que fazem parte do mesmo, como trocadores de calor, bombas, tanques e outros. Além disso, o fluxograma permite a visualização do funcionamento de todo o processo e a interligação desses equipamentos.

Figura 1 – Reator industrial



Fonte: Soluções industriais (2022)

Ao longo de um processo industrial existem diversas etapas, a começar pelo manejo da matéria prima que geralmente é carregada para dentro de um reator através de

uma bomba centrífuga, dispositivo utilizado para bombear fluidos em um alto volume. Em paralelo ocorrem ações em outros equipamentos para que o processo siga em frente, como por exemplo a troca térmica entre dois fluidos, como o vapor e a água gelada que ocorre em um trocador de calor gerando água quente. Esta água quente irá entrar na serpentina do reator para realizar uma operação unitária com a matéria prima. Neste mesmo exemplo, caso ocorra o acúmulo de condensado gerado pelo vapor de água o purgador é acionado para a eliminação do mesmo. Após o término dessa operação unitária, diversas outras podem ser realizadas para chegar ao produto desejado que ao final do seu processo é primeiramente armazenado em um tanque para então ser envasado e distribuído.

Para assegurar a qualidade e a estabilidade desses processos, são instalados sensores e válvulas de controle em pontos específicos para que o processo possa ser monitorado e controlado.

## **2.2. Excelência Operacional**

O conceito de Excelência Operacional surgiu no livro *In Search of Excellence* de Tom Peters e Robert Waterman e foi disseminado por Toyota através da criação do modelo da Casa Toyota. Este modelo, ao fazer uma analogia com a construção de uma casa, demonstra que as etapas de um processo são dependentes uma das outras. Então, para que o teto tenha uma qualidade maior, a parede e a base precisam estar estáveis.

Composta por quatro pilares (Estratégia, Gestão, Processos e Pessoas), esta metodologia vem sendo cada vez mais utilizada por empresas de diversos ramos e visa aumentar a qualidade e a eficiência das operações com a integração de todas as partes do processo.

Os programas de Excelência Operacional são desenvolvidos exclusivamente para cada empresa e envolve as etapas de planejamento estratégico com uma boa definição de metas e objetivos, gestão e análise dos processos buscando a melhoria contínua por meio de metodologias Lean e otimização técnica de processos através de pessoas motivadas e capacitadas para uma melhor tomada de decisão.

### 2.2.1. Otimização técnica de processos

A otimização técnica de processos é uma das ferramentas utilizadas para a busca da Excelência Operacional. Com foco nos pilares de gestão e processos, esta metodologia procura mapear e analisar processos através do estudo de fluxogramas, análise de variáveis, percentual de ocupação e perdas da produção, dentre outros fatores buscando a redução de custos variáveis (Ex. Consumo de energia e matéria prima), o desgargalamento dos processos e o aumento de capacidade e confiabilidade do processo.

## 2.3. Funcionamento de instrumentos, atuadores e controladores

### 2.3.1. Trocadores de calor

Consiste em um equipamento muito comum utilizado na indústria, que possui diversos tipos e configurações aplicado em processos de resfriamento ou de aquecimento. De acordo com a literatura, a troca entre dois fluidos, separados por uma parede sólida, a diferentes temperaturas, ocorre em um trocador de calor.

O processo de troca de calor entre dois fluidos que estão em diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida ocorre em muitas aplicações de engenharia. O dispositivo utilizado para implementar essa troca é chamado de trocador de calor, e aplicações específicas podem ser encontrados em aquecimento e ar condicionado, produção de energia, recuperação de calor residual e processamento químico. (BERGMAN, T. L., 2011, p. 706)

Uma de suas aplicações é o aquecimento de água através de vapor, transferindo energia térmica do mesmo para a água gelada sem haver contato direto entre estes fluidos, gerando água quente na saída.

Dentre os diversos tipos deste equipamento podemos citar o trocador de calor duplo tubo, casco tubo, serpentina, aletados e de placas.

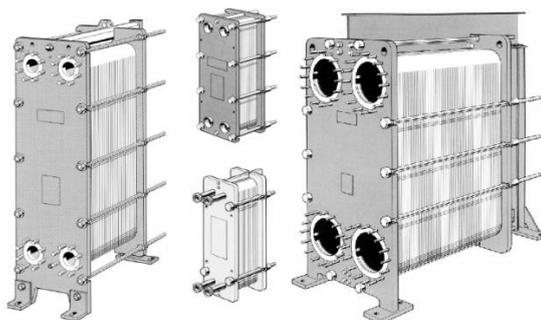
- **Placa**

Os trocadores de calor tipo placa (Figura 2) são amplamente empregados nas indústrias devido a sua alta performance, eficiência, redução de espaço físico em relação a outros trocadores, facilidade na expansão, praticidade na limpeza e manutenção,

economia de energia, dentre outros. Possuem uma infinidade de possibilidades de configuração considerando a quantidade de canais de escoamento e a disposição de seus lados com os fluidos quentes e frios.

Este tipo de trocador de calor consiste basicamente de um pacote de finas placas metálicas corrugadas comprimido por parafusos de aperto em um pedestal. Entre cada par de placas são usadas gaxetas para formar canais de escoamento pelos quais os fluidos quente e frio circulam alternadamente, trocando calor através das placas metálicas. (GUT, J. A. W, 2003, p. 2).

Figura 2 – Trocador de calor tipo placa



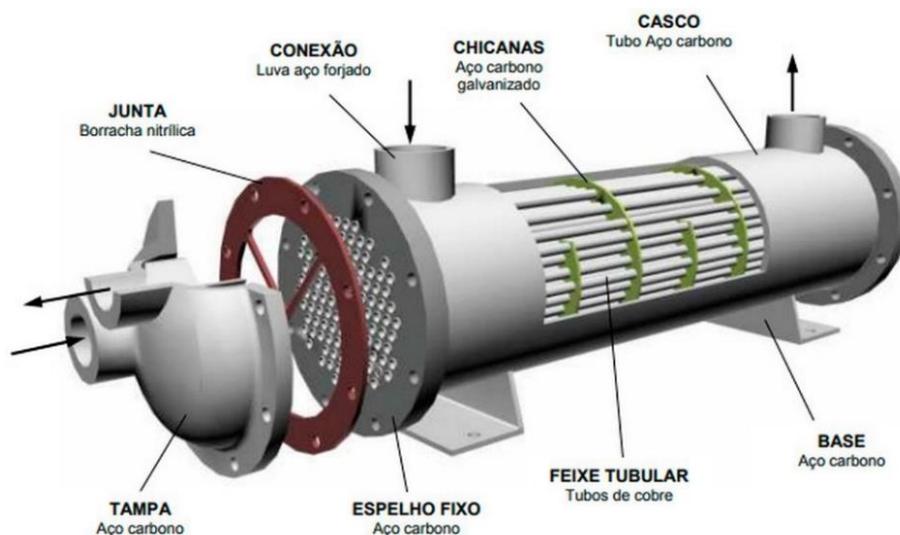
Fonte: GUT, Jorge A. W (2003)

- **Casco e tubo**

O casco e tubo consiste em um modelo de trocador de calor (Figura 3), sua alta utilização em indústrias de processo se dá ao fato de serem equipamentos robustos com grande resistência mecânica corroborando para um número menor de falhas devido a variações no processo, diferentemente de outros modelos de trocadores. Dado estas características costuma ter uma vida útil maior e um custo menor de manutenção.

O trocador de calor casco e tubo conta com um casco com alguns tubos dentro dele para a realização da troca dos fluidos. Enquanto um fluido passa pelos tubos, o outro fluido passa sobre eles através do casco, fazendo a troca de calor entre os dois elementos. Os tubos que compõem o trocador de calor casco e tubo podem ser aletados, planos e possuir outras variações. (MAZE, 2022)

Figura 3 – Trocador de calor tipo casco-tubo



Fonte: M consultoria (2022)

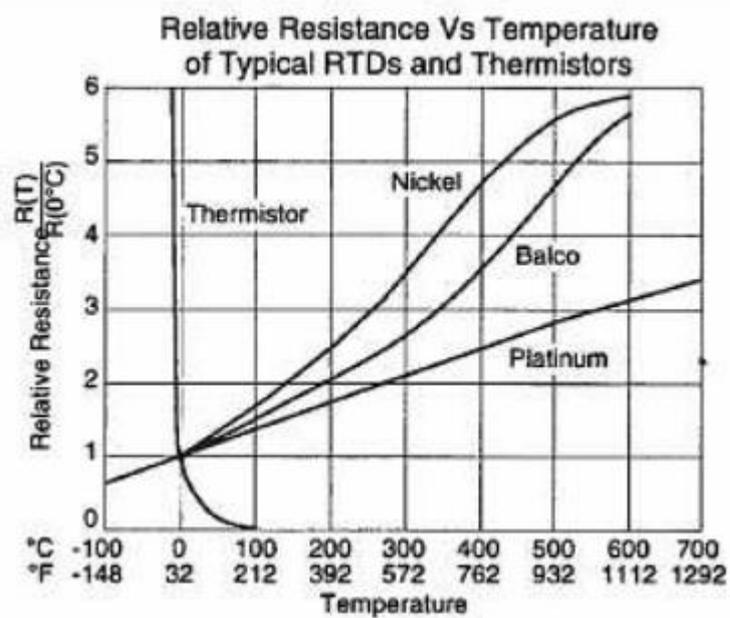
### 2.3.2. Termoresistores (RTD)

Os termoresistores são sensores de temperatura em que a resistência varia com a alteração da temperatura.

Os RTDs são usados quando as aplicações exigem precisão, estabilidade, linearidade e repetibilidade a longo prazo. Os RTDs podem funcionar em uma ampla faixa de temperatura; alguns sensores de platina lidam com temperaturas de 165°C a 650°C. Os materiais comuns para RTDs incluem platina, níquel, cobre, balco e tungstênio. (CONTROL STATION INC, 2005, p. 65).

Os sensores de temperatura feitos de platina são os mais comuns por possuírem uma curva estável e praticamente linear da resistência em relação a temperatura (Figura 4). Devido a esta característica, a sua exatidão, estabilidade, alta faixa de temperatura e menor influência de ruídos, são os sensores mais utilizados nas indústrias. Sendo o PT100 (Figura 5), o mais comum.

Figura 4 – Resistência x Temperatura RTD



Fonte: (CONTROL STATION INC, 2005)

Figura 5 – Sensor de temperatura PT100



Fonte: Zurich (2022)

### 2.3.3. Válvula de controle

As válvulas servem para controlar o fluxo de um fluido dentro de uma tubulação seja de forma manual ou automática.

As válvulas de controle são os atuadores ou elementos finais de controle mais usados nas indústrias de processo. Eles manipulam os fluidos que fluem para manter as variáveis sendo controladas nas posições desejadas. Uma válvula de controle é conhecida como o elemento de controle final porque é o elemento que manipula o valor da variável no processo de controle. É definido como um mecanismo que altera o valor da variável que está sendo manipulada em resposta ao sinal de saída de um controlador, seja automático, manual ou por ação humana direta. É o elemento que implementa a decisão dos controladores. (HOLLOWAY, M. D., 2012, p. 9)

Pode-se encontrar três tipos de atuadores combinados as válvulas automáticas, sendo eles: pneumáticos, elétricos ou hidráulicos. Os mesmos são utilizados para substituir a ação humana de fechar e abrir as válvulas. O tipo pneumático (Figura 6) é o mais comum devido ao seu modo de funcionamento que trabalha com ar comprimido, resultando em maior economia quando comparado aos outros, alta durabilidade, força e velocidade, não possui nenhum risco de toxicidade, além de apresentar mais segurança por não gerar faíscas.

Figura 6 – Válvula com atuador pneumático

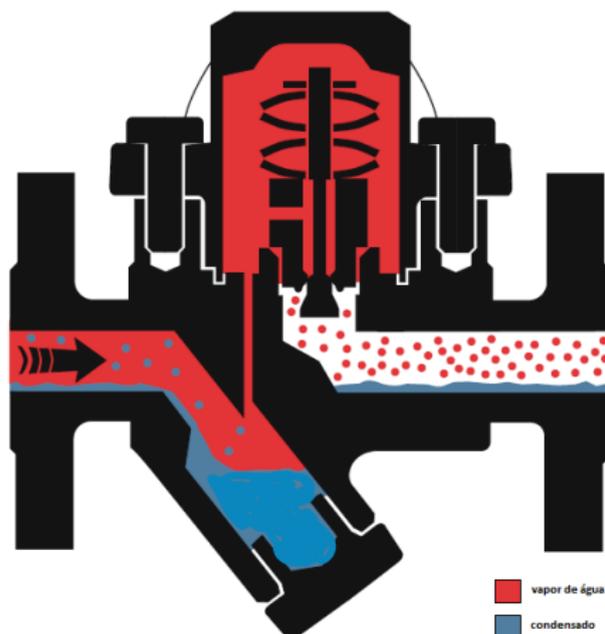


Fonte: MGA (2022)

#### 2.3.4. Purgo – Bomba

A purgo-bomba une as funções de um purgador com a de uma bomba de condensado. Os purgadores (Figura 7) são válvulas automáticas que abrem com intuito de eliminar o condensado gerado pelo vapor de água e outros gases que não são condensáveis e geram o desgaste das peças ou permanecem fechadas quando possui apenas vapor de água.

Figura 7 – Purgador



Fonte: FARIA, Joana R. C (2014)

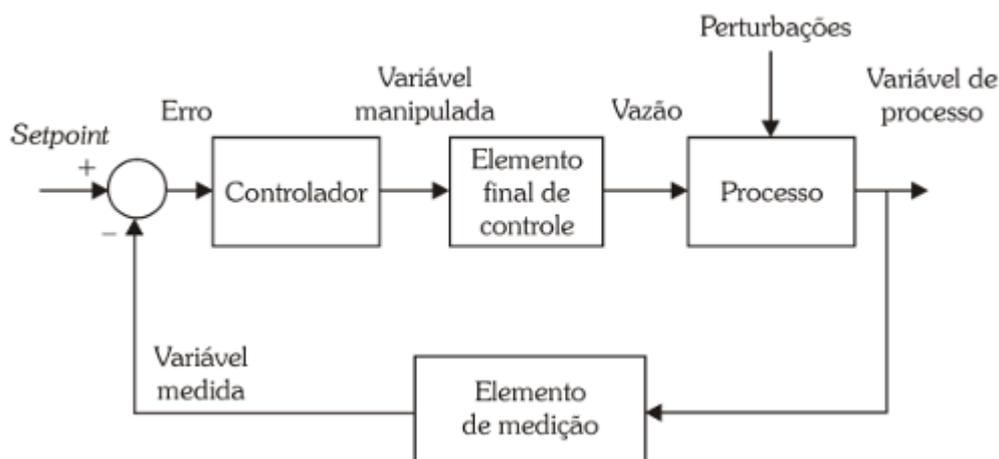
Já as bombas de condensado servem para carregar o condensado de baixa pressão até o tanque de condensado. Então, a purgo-bomba funciona como purgador quando a pressão for positiva e como bomba de condensado quando a mesma for negativa.

## 2.4. Controle

### 2.4.1. Malhas de controle

Uma malha de controle pode ser subdividida em duas categorias: malha aberta e malha fechada. A primeira consiste em um sistema composto por uma entrada, controlador e saída em que a variável de saída não influencia na ação do controlador. Já a segunda (Figura 8), é composta por um controlador, atuador e sensor. Com o intuito de manter uma variável de processo estabilizada em um determinado valor (setpoint), o sensor envia para o controlador o valor da variável de processo que tenta minimizar ou eliminar o erro do sistema, que é a diferença do valor de saída (variável de processo) pelo de entrada (setpoint), indicando como o atuador deve funcionar.

Figura 8 – Diagrama de blocos de um controle em malha fechada



Fonte: Claiton Moro Franchi (2011)

Existem diversas técnicas para controlar esse processo em malha fechada, como por exemplo On/Off, PI, PD, PID, controladores por lógica nebulosa (fuzzy logic), híbridos baseados em redes neurais, dentre outros.

#### 2.4.2. Controle PID

Existem três bases de controladores: proporcional, integral e derivativo. Dessas três bases são formados os controladores PD (proporcional – derivativo), PI (proporcional - integral) e PID (proporcional – integral – derivativo). O controlador PID une as três técnicas visando obter o melhor controle possível.

A utilidade dos controles PID está na sua aplicabilidade geral à maioria dos sistemas de controle. Em particular, quando o modelo matemático da planta não é conhecido e, portanto, métodos de projeto analítico não podem ser utilizados, controles PID se mostram os mais úteis. Na área dos sistemas de controle de processos, sabe-se que os esquemas básicos de controle PID e os controles PID modificados provaram sua utilidade conferindo um controle satisfatório, embora em muitas situações eles possam não proporcionar um controle ótimo. (OGATA, K., 2010, p. 521)

Para entender o que a alteração dos ganhos de cada técnica gera no sistema, precisamos de quatro conceitos: tempo de subida, overshoot, tempo de acomodação e erro. O tempo de subida é o tempo necessário para que o sinal de saída alcance de 10% a 90% do valor de referência do sistema. O overshoot, também conhecido como máximo sobressinal, é o valor que ultrapassa o setpoint, ou seja, a diferença entre o valor máximo atingido pelo valor de referência. O tempo de acomodação é o tempo necessário para o sinal se estabilizar em um intervalo de tolerância. Intervalo que varia de 1% a 5%, sendo o mais comum o valor de 2%. E o erro é a diferença do valor do sinal de saída pelo de

entrada (setpoint).

O controlador proporcional gera uma saída diretamente equivalente ao sinal de erro, e para remover essa proporcionalidade é utilizado um ganho proporcional  $K_p$ . Este ganho diminui o tempo de subida, aumenta o overshoot, não interfere muito no tempo de acomodação e diminui o erro estacionário.

O controlador integral gera uma saída diretamente proporcional a integral do sinal de erro e para remover essa proporcionalidade é utilizado um ganho integral  $K_i$ . Este ganho diminui o tempo de subida, aumenta o overshoot, aumenta o tempo de acomodação e elimina o erro estacionário.

E o controlador derivativo gera uma saída diretamente proporcional a derivada do sinal de erro, utilizando o ganho derivativo  $K_d$ . Este ganho não influencia muito no tempo de subida, diminui o overshoot, diminui o tempo de acomodação e não influencia muito no erro estacionário.

A combinação desses três ganhos irá gerar a melhor resposta ao controle do sistema, porém ao alterar um desses parâmetros ele pode influenciar em como o outro irá operar, por isso a tabela 1 indica apenas uma aproximação de como esses parâmetros funcionam, precisando servir como guia na hora de parametrizar estes ganhos.

Tabela 1 – Influência dos ganhos dos controladores no sistema

Ganhos	Tempo de subida	Overshoot	Tempo de acomodação	Erro estacionário
$K_p$	Diminui	Aumenta	Pouca influência	Diminui
$K_i$	Diminui	Aumenta	Aumenta	Elimina
$K_d$	Pouca influência	Diminui	Diminui	Pouca influência

Fonte: Autor (2022)

Existem diversos modos de sintonia desse controlador para ajustar esses parâmetros, como o tentativa e erro, método de Ziegler-Nichols, autotuning, dentre outros.

O método de tentativa e erro pode vir a ser um processo demorado caso necessite de diversas tentativas para encontrar os melhores parâmetros para o sistema. O mesmo se inicia setando os valores dos ganhos integral e derivativo, sendo  $K_i$  para o seu valor máximo e  $K_d$  para o valor mínimo. Em seguida, coloca-se um valor baixo para o ganho proporcional  $K_p$  e vai alterando o mesmo até obter uma oscilação com amplitude

constante. Quando isso ocorre, reduzimos o valor de  $K_p$  pela metade e diminuímos o valor de  $K_i$  até que o sistema atinja novamente uma oscilação com amplitude constante. Setamos o valor de  $K_i$  três vezes maior do que o valor encontrado nessa etapa e aumentamos o valor de  $K_d$  até a mesma oscilação, finalizando ao parametrizar esse valor obtido a um terço.

O método de Ziegler-Nichols se inicia com os valores de  $K_i$  e  $K_d$  setados em zero, para então alterar o valor de  $K_p$  até que o sistema atinja a oscilação com amplitude constante. O valor encontrado nesse momento é chamado de ganho supremo  $K_{pu}$  e o tempo necessário para atingir esse ponto de período supremo  $P_u$ . Com esses valores encontrados, os parâmetros do sistema podem ser obtidos através da tabela 2.

Tabela 2 – Método de Ziegler-Nichols

Controlador	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0.50K_{pu}$	-	-
PI	$0.45K_{pu}$	$P_u/1.2$	-
PID	$0.60K_{pu}$	$P_u/2.0$	$P_u/8.0$

Fonte: Autor (2022)

O método de autotuning tem um funcionamento parecido com o de Ziegler-Nichols. A única diferença é que utiliza um relé para gerar as oscilações no sistema e obter os parâmetros  $K_{pu}$  e  $P_u$ , para então serem substituídos nas fórmulas do método Ziegler-Nichols e encontrar os ganhos do sistema.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

#### **3.1. Descrição do sistema**

Esse processo consiste na produção de dois fungicidas do sistema 2000, Abacus e Orkestra, indicado para lavouras de milho ou trigo e multiculturas, respectivamente. O sistema de produção é composto por sete etapas e quatro operações unitárias: dispersão, emulsão, moagem e adensamento. O Anexo A apresenta o fluxograma de todo o processo.

Neste estudo focamos na etapa que ocorre no reator R2020 (anexo B) e alguns equipamentos que influenciam no desempenho do mesmo. A etapa de emulsão In situ (Pyraclostrobim) consiste na mistura de líquidos que não se misturam (imiscíveis) e então começa com o controle da temperatura do reator que deve estar por volta de 25 °C na produção do Orkestra e por volta de 39 °C na produção do Abacus, seguida pela agitação do dispersor. Após a dosagem de algumas substâncias, dá início ao aquecimento da emulsão. Esse controle da temperatura é feito pela entrada de água gelada e água quente no sistema, sendo que esta segunda é feita por meio do trocador de calor W8600 (anexo C), que transfere o calor do vapor para a água. Quando a temperatura é atingida, 60 °C (Orkestra) e 80 °C (Abacus) a recirculação via siefer começa e a dosagem do ativo está liberada. Após a dosagem do ativo Pyraclostrobim, a linha de recirculação para e ocorre uma amostragem para analisar o resultado da emulsão. Caso esteja dentro das especificações, o processo é liberado para a próxima etapa.

#### **3.2. Levantamento de dados, análise do sistema e definição de escopo**

A área de Excelência Operacional da BASF é uma área de consultoria que se subdivide para suportar projetos utilizando metodologias Lean e otimização técnica de processos. É composta por um time de sete profissionais, sendo três destes destinados a segunda metodologia. Este time foi contratado pela gerência da planta de fungicidas para realizar um estudo do sistema 2000 para identificar os potenciais de melhorias visando o aumento de confiabilidade e capacidade da planta, ou seja, um aumento na qualidade e quantidade de produto acabado com um processo com menos falhas e paradas de produção. Para a realização desse estudo foi elaborado um cronograma de atividades, seguindo a metodologia de otimização técnica de processos da empresa, a serem seguidas (Tabela 3).

Tabela 3 - Cronograma de Atividades



Fonte : Autor (2022)

A metodologia utilizada tem como princípios a busca pela redução de custos variáveis, o aumento da confiabilidade do processo e o desgargalamento, ou seja, a identificação da etapa do processo mais lenta ou sobrecarregada que está afetando todas as outras etapas. Para atingir esses objetivos são analisados o tempo de ciclo de bateladas, ou seja, o tempo necessário para a conclusão do processo, o aumento da quantidade produzida por lote, a comparação do sistema com processos parecidos, as variáveis do processo (pressão, temperatura, vazão) e a estatística das mesmas, a análise dos motivos que levaram a paradas da produção, o acompanhamento em campo para identificação de problemas, dentre outros fatores.

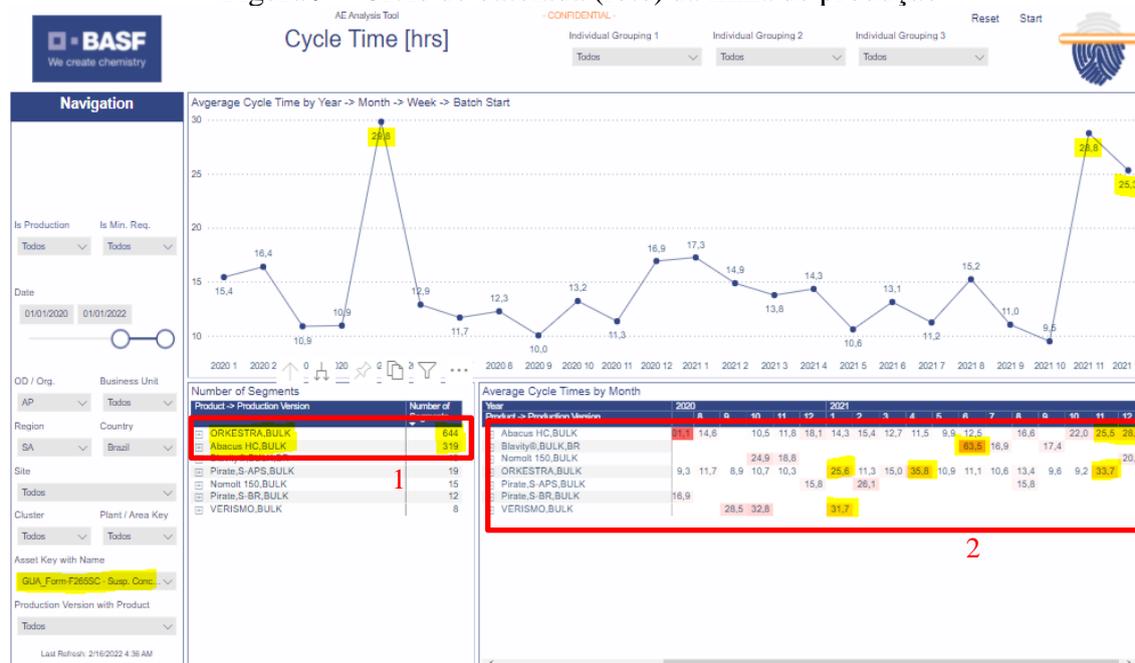
Seguindo estes fatores, na figura 9 foi analisada a quantidade de bateladas (lotes) realizadas por produto na linha de produção do sistema 2000 para identificar os dois mais fabricados. Além disso, foi analisado o tempo médio de batelada por mês por produto para identificar os períodos de melhor e pior tempo de produção. Com esse período definido, foi possível fazer a comparação das variáveis do processo e identificar aquelas que tiveram seu comportamento alterado levando a um aumento do tempo de processo e uma má performance do sistema.

A demarcação 1 indica a quantidade de lotes fabricados nessa linha de produção por cada tipo de produto em um período de dois anos. Sendo observado os produtos

Orkestra e Abacus como os principais, com 644 e 319 lotes, respectivamente.

A demarcação 2 indica o tempo médio por mês da batelada de determinado produto. Ao analisar os tempos do Orkestra no ano de 2021, identificamos que o mês de abril foi o pior período com 35,8h e o melhor foi em outubro com 9,2h. E no Abacus o pior período foi em dezembro com 28,1h e o melhor em maio com 9,9h.

Figura 9 – Ciclo de batelada (lote) da linha de produção



Fonte: Autor (2022)

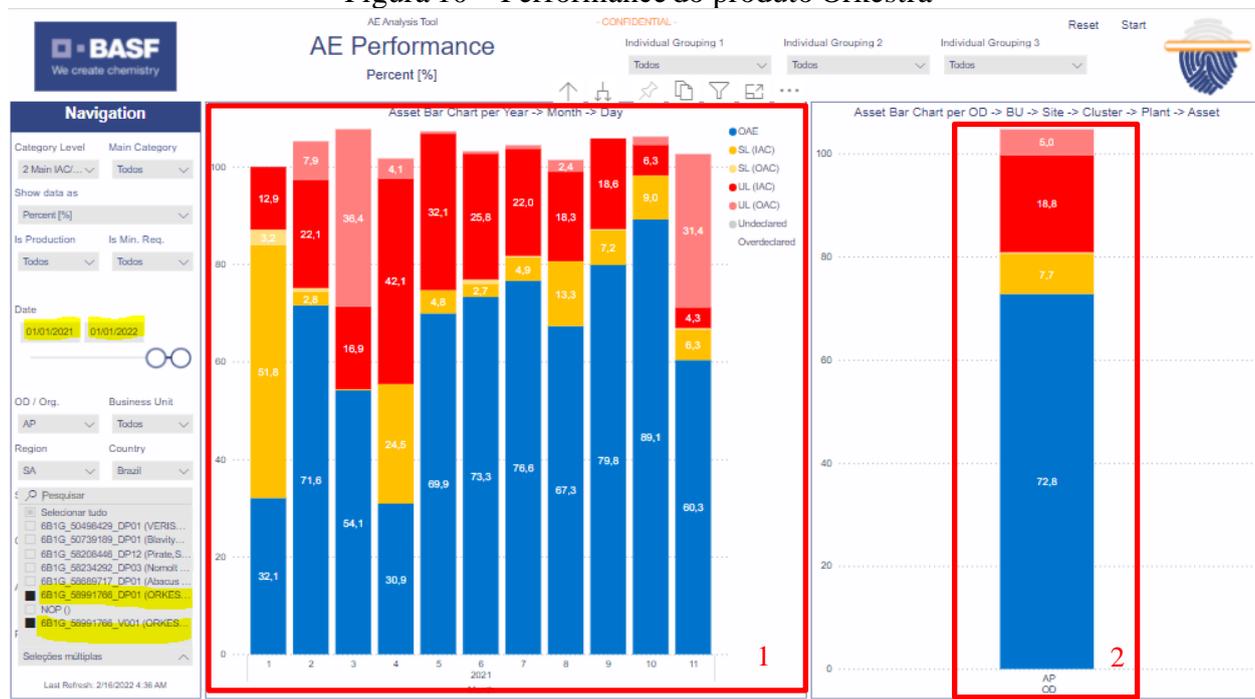
Depois de determinado os principais produtos, através das figuras 10 e 11 foi analisada a performance desses produtos para identificar o percentual de ocupação e de perdas esperadas e inesperadas de cada Time, ou seja, motivos que levaram a parada da produção.

A demarcação 1 indica o percentual da performance de determinado produto por mês. A coloração azul indica o percentual do tempo em que este produto estava sendo fabricado. A coloração amarela indica o percentual de tempo em que este processo de produção ficou parado por perdas que já eram esperadas, como por exemplo a parada para manutenção. E a coloração vermelha indica o percentual de tempo em que este processo ficou parado por perdas inesperadas, como por exemplo a falha de equipamentos.

A demarcação 2 indica uma média de todos os meses desse percentual. Então, ao analisar apenas esta parte dos gráficos, concluímos que o Orkestra obteve um percentual de ocupação (azul) de 72,8% e um percentual de 23,8% de perdas inesperadas (vermelho).

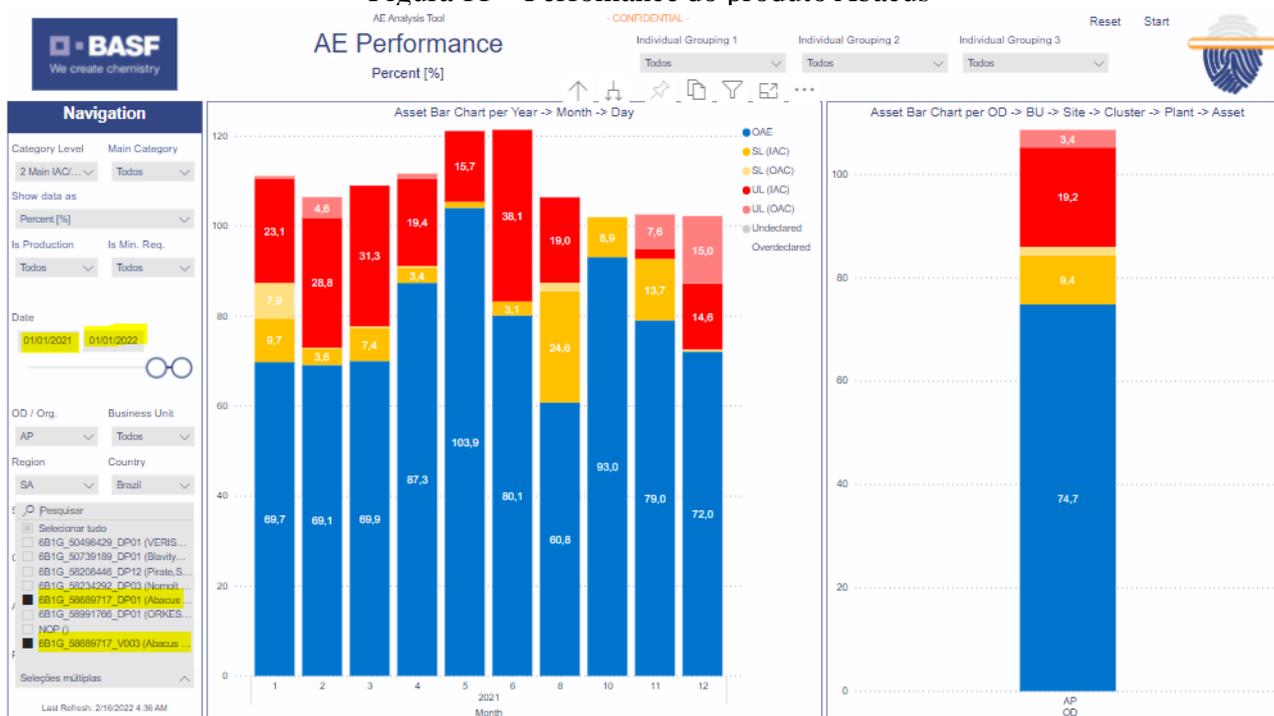
Já o Abacus teve 74,7% de ocupação e 22,6% de perdas inesperadas. Sendo que os potenciais de melhorias estão localizados no percentual de perdas inesperadas.

Figura 10 – Performance do produto Orkestra



Fonte: Autor (2022)

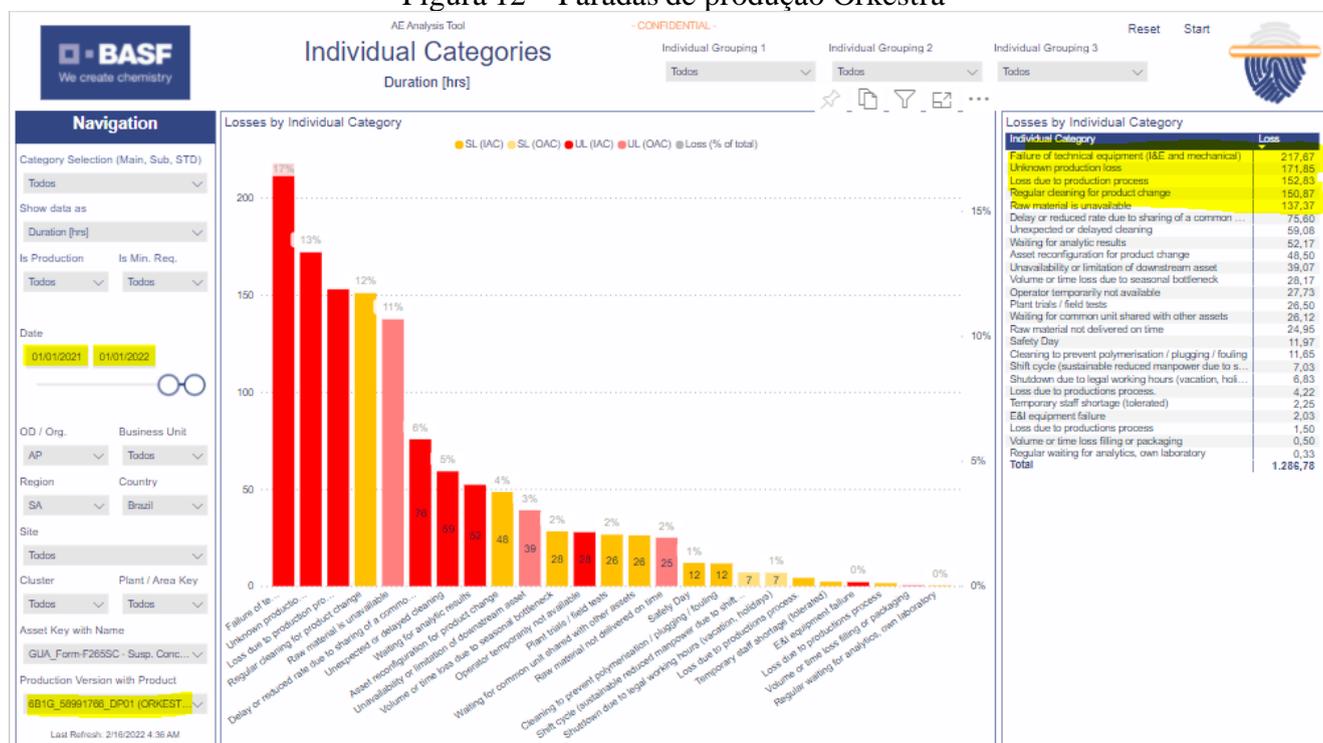
Figura 11 – Performance do produto Abacus



Fonte: Autor (2022)

Conforme figuras 12 e 13, observamos os motivos que levaram a paradas da produção e a quantidade de horas relacionadas aos mesmos. No produto Orkestra, a falha de equipamento técnico foi a principal causa de parada com 218 horas no ano de 2021, enquanto no Abacus, o mesmo tipo de falha está em terceiro lugar com 102 horas.

Figura 12 – Paradas de produção Orkestra



Fonte: Autor (2022)

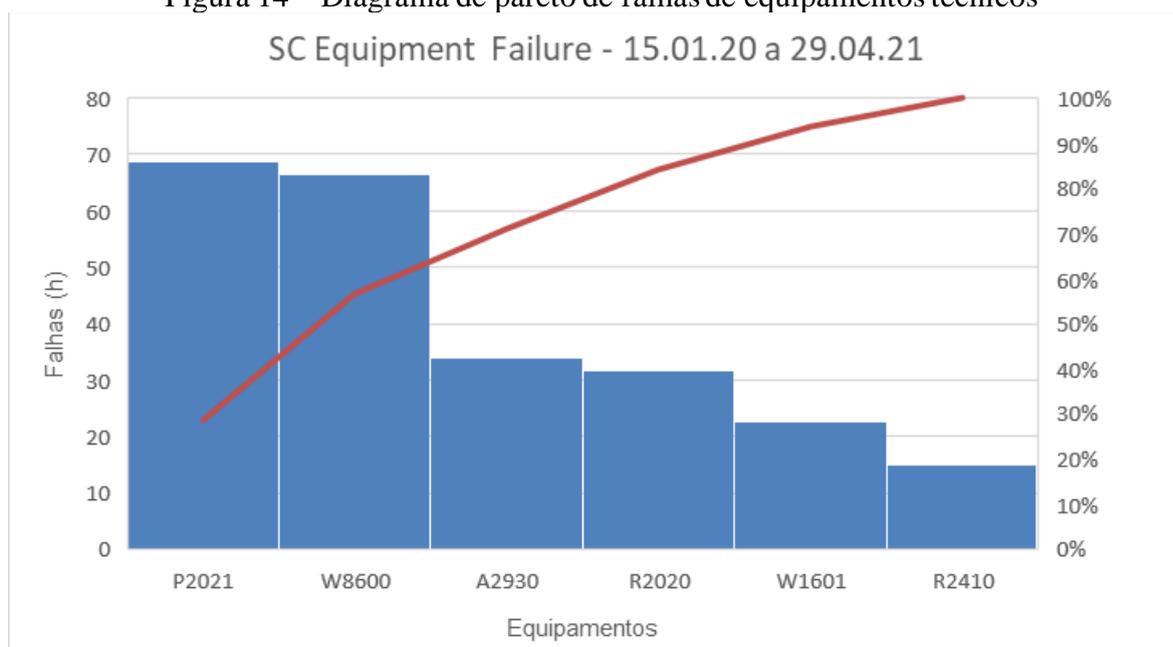
Figura 13 – Paradas de produção Abacus



Fonte: Autor (2022)

Para aprofundar a análise da categoria de paradas de produção por falha de equipamentos técnicos, criamos um diagrama de Pareto para classificar os principais equipamentos a serem corrigidos. No período de janeiro de 2020 à abril de 2021, foi observado que os principais equipamentos que causaram parada de produção foram a bomba P201 (parte do sistema do reator R2020) e o trocador de calor W8600 (responsável pelo aquecimento de água para o reator R2020), com 69 horas e 67 horas, respectivamente. O percentual deste diagrama indica que ao sanar os problemas relacionados a esses dois equipamentos, aproximadamente 60% dessa categoria será corrigida (Figura 14).

Figura 14 – Diagrama de pareto de falhas de equipamentos técnicos



Fonte: Autor (2022)

Com a identificação dos dois principais produtos da linha SC e dos principais equipamentos que estavam causando paradas de produção, o escopo do projeto foi definido para estudar e identificar potenciais de melhorias na etapa do processo do R2020 e equipamentos que interferem no seu funcionamento na fabricação dos produtos Abacus e Orkestra.

### **3.3. Estudo e apresentação de soluções e melhorias**

Com acompanhamentos em campo das etapas de produção, análise das variáveis de processo através do PIMS (*Plant Information Management Systems*) e levantamento dos custos de manutenção do trocador de calor W8600, foram identificados oito potenciais de melhorias: alterar a localização do trocador de calor e da purgo-bomba; substituir trocador de calor de placas W8600 para casco-tubo; instalar válvula automática na entrada de vapor do W8600; melhorar controle de temperatura para o W8600; aumentar setpoint de temperatura do banho maria de 88 °C para 93 °C; substituir sistema de dosagem do Pyraclostrobim de tambores para isocontainers; instalar indicador de vazão na linha do Pyraclostrobim; e instalar isolamento nas tubulações.

#### **3.3.1. Alterar a localização do trocador de calor e da purgo-bomba**

Através de análises em campo, observamos a presença de golpes de aríete nas tubulações, que são marteladas muito fáceis de identificar devido ao barulho produzido. Este fenômeno ocorre devido a variação de pressão, então, com o intuito de eliminar a queda de pressão devido a altura do trocador W8600 em relação ao reator R2020, local em que ocorre todas as reações químicas do processo, foi proposto alterar a localização do trocador de calor e da purgo-bomba do piso zero metros para o doze metros ao lado do reator R2020.

#### **3.3.2. Substituir trocador de calor de placas W8600 para casco-tubo**

Após o levantamento histórico dos últimos três anos de manutenção do trocador de calor W8600 (período de 2018 a 2021) foi observado que foram gastos aproximadamente R\$134.324,00 com revisões e reparos do equipamento, conforme figura 15 e tabela 4.

Figura 15 – Histórico de manutenção W8600



Fonte: Autor (2022)

Tabela 4 – Histórico de manutenção

Rótulos de Linha	Soma de Total real
<b>2018</b>	<b>R\$ 47.987,22</b>
Aquisição placas / juntas	R\$ 21.823,61
Revisão trocador	R\$ 17.211,76
Vazamento	R\$ 6.197,58
Quebra vácuo	R\$ 2.410,43
Revisão manômetro	R\$ 343,84
Instalar purgo bomba	R\$ 0,00
<b>2019</b>	<b>R\$ 33.554,71</b>
Elevar altura trocador	R\$ 18.765,85
Purgador	R\$ 7.455,68
Revisão trocador	R\$ 6.816,26
Isolamento	R\$ 367,68
Aperto de flange e parafuso	R\$ 149,24
<b>2020</b>	<b>R\$ 38.569,56</b>
Vazamento	R\$ 35.024,17
Purgador	R\$ 2.036,56
Válvula quebra vácuo	R\$ 1.508,83
<b>2021</b>	<b>R\$ 14.212,94</b>
Revisão trocador	R\$ 14.060,53
Vazamento	R\$ 152,41
<b>Total Geral</b>	<b>R\$ 134.324,43</b>

Fonte: Autor (2022)

Dado o alto índice de parada de produção devido a problemas no trocador de calor e seu alto custo de manutenção nos últimos anos, principalmente com vazamento, foi sugerida a substituição do trocador de calor W8600 do tipo placa para o tipo casco tubo. Essa substituição diminui o tempo de aquecimento em cinco minutos, aumenta o fluxo de

calor médio em 37 kW (11,9%), a vazão média em 63 kg/h (11,8%) e a área do aquecedor em 1,232 m<sup>2</sup> (37,7%) (Tabela 5). Além disso, por ser um trocador de calor mais robusto, possui uma resistência mecânica maior evitando vazamentos caso ocorra alguma variação no processo, diferentemente do trocador tipo placa.

Tabela 5 – Comparação tipos de trocador de calor

Equipamento	Especificação	Aquecimento água	TIPO trocador	Área do aquecedor m <sup>2</sup>	Temperatur a inicial Prod. Abacus °C	Temperatur a final Prod. Abacus °C	Massa (kg)	cp Massa	Cálculo p/ aquecer p/ T = 80 °C kJ	Tempo para a massa atingir Temp final (min)	Fluxo de Calor médio (kW)	Entalpia (Jhv) Vapor kJ/kg	Vazão média kg/h Fórmula: m <sub>steam</sub> = Q/Δhv*3600	Q=U.A.ΔT (m <sup>2</sup> )	Pressão vapor entrada (barg)
W8600	Trocador para aquecimento água para camisa R2020 de ambiente para 60 C na produção Abacus e 80 C na produção Orouestra	W8600 p/ camisa R2020	Placas	3,268	39	80	5151	4,10	875.176	47	310	2096	532,97	3,275	4,5
W8600	Trocador para aquecimento água para camisa R2020 de ambiente para 60 C na produção Abacus e 80 C na produção Orouestra	W8600 p/ camisa R2020	Casco-tubo	4,5	39	80	5151	4,10	875.176	42	347	2096	596	4,5	4,5

Q=U.A.ΔT 310.403 W  
 Heat Load 266.688 kcal/h  
 MLDT 95  
 MLDT Seite 221 (Heizen mit kondensierendem Sattdampf)  
 T vapor 156 °C

Fonte: Autor (2022)

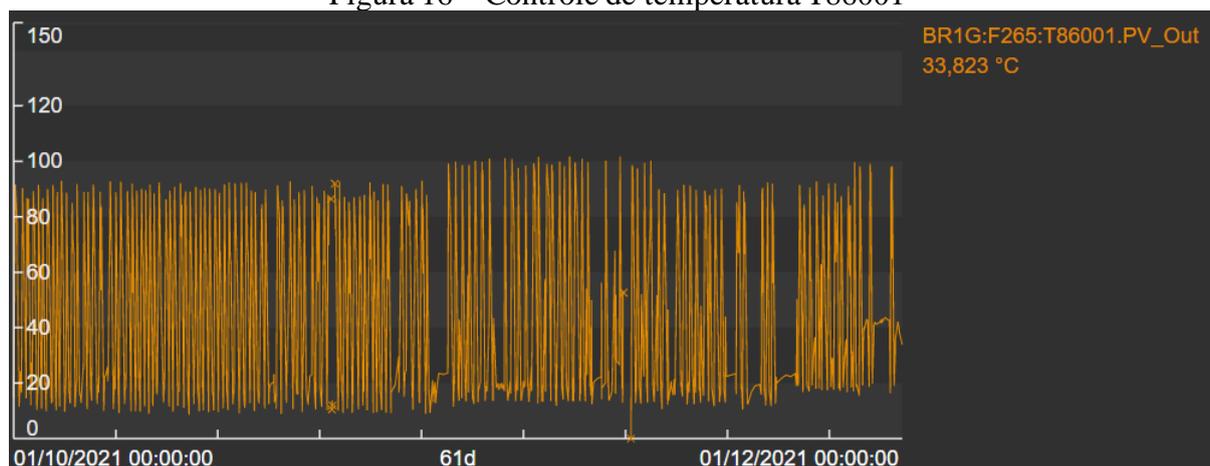
### 3.3.3. Instalar válvula automática na entrada de vapor do W8600

A controladora do trocador de calor está dando passagem, ou seja, está deixando que a substância passe quando não deveria ocasionando vazamento. Para que ocorra a eliminação desse vazamento, foi proposto a instalação de uma válvula automática para que seja feito o controle desse fluxo. Dentre os diversos tipos de atuadores combinados a válvulas automáticas, o recomendado é o pneumático por ter uma durabilidade maior, ter mais segurança por trabalhar com ar comprimido (zero risco de toxicidade) e por não gerar faíscas.

### 3.3.4. Melhorar controle de temperatura para o W8600

Ao analisar a temperatura do W8600 foi constatado que está com muita oscilação, o que indica que os ganhos proporcional, integral e derivativo do controle PID não estão com os parâmetros adequados (Figura 16). Além disso, através de uma análise estatística (Tabela 6) dessa temperatura no período de um ano, pudemos observar que o valor máximo atingido pela temperatura, 106,8 °C, foi quase duas vezes o valor na maior parte do tempo (54,0 °C).

Figura 16 – Controle de temperatura T86001



Fonte: Autor (2022)

Tabela 6 – Estatística temperatura T86001

Data	T86001
<b>AVG</b>	<b>35,1</b>
<b>STD</b>	<b>23,8</b>
<b>MAX</b>	<b>106,8</b>
<b>MIN</b>	<b>8,3</b>
<b>MED</b>	<b>23,3</b>
<b>Quartil 3 (75%)</b>	<b>54,0</b>

Fonte: Autor (2022)

Por se tratar de uma malha de controle fechada com um único controlador, a variação da pressão altera o fluxo de vazão que irá provocar uma alteração na temperatura, que é a variável controlada. A dinâmica de cada processo estabelece um tempo necessário para que o controlador perceba a alteração da temperatura para agir na atuação da válvula. Esse tempo para a atuação da válvula, muitas vezes vai atuar em um momento que já ocorreu uma mudança do valor de pressão o que irá gerar oscilações no sistema. Para que esse problema seja sanado, é recomendada a implementação de uma malha de controle cascata em que a alteração da pressão não irá influenciar na vazão do fluido, sendo está controlada única e exclusivamente pela temperatura.

### **3.3.5. Aumentar setpoint de temperatura do banho maria de 88 °C para 93 °C**

O ativo Pyraclostrobim precisa atingir uma certa temperatura para que possa ser dosado durante o processo. Esse aquecimento é feito por um sistema de banho maria localizado no piso zero metros. Paletes com quatro tambores cada são retirados por vez desse banho maria, colocados em um carrinho de transporte para serem levados até o piso doze metros onde é feita a dosagem desse ativo. Essa é uma etapa completamente manual, então após a chegada dos tambores no piso, um operador dosa um tambor dessa matéria-prima por vez. Por se tratar de uma substância que apresenta diferença de viscosidade a diferentes temperatura, o último tambor a ser dosado, que já está com uma temperatura menor, dosa uma quantidade de matéria prima menor por estar mais viscoso. Então, para que a temperatura dos tambores permaneça mais alta na hora da dosagem e para que o resto da matéria-prima seja menor, foi proposto aumentar o setpoint das temperaturas do banho maria de 88 °C para 93 °C. Este valor foi estipulado considerando a temperatura de intertravamento do processo de 95 °C. Caso essa temperatura seja ultrapassada, as propriedades físicas da matéria-prima podem ser alteradas levando a uma interferência na qualidade do produto acabado.

### **3.3.6. Substituir sistema de dosagem do Pyraclostrobim de tambores para isocontainers**

Através do acompanhamento da dosagem de Pyraclostrobim em campo observamos a diferença de quantidade de matéria prima dosada. Em cada batelada são dosados 3600 Kg dessa substância. A mesma é feita por tambores e cada tambor possui 240 Kg, sendo necessário 15 tambores por batelada (lote).

Para comparar a quantidade de produto dosado, monitoramos essa etapa em três métodos diferentes: subindo dois paletes com quatro tambores cada por vez, subindo dois paletes e depois um palete por vez e por fim subindo um palete por vez. A tabela 7 demonstra a quantidade deste ativo dosado em cada método, que pode ter sido repetido, e a quantidade de ativo perdido. Dentre estes três métodos, o último foi o mais eficiente trazendo a menor quantidade de matéria prima perdida por batelada (41,0 Kg). Isso aconteceu devido ao fato da temperatura do tambor permanecer mais alta quando os paletes são levados um de cada vez.

Como essa etapa é completamente manual, necessita de operadores para retirar os paletes do banho maria, transferir do piso zero metros para o doze metros e fazer a dosagem

manual. A disponibilidade dos mesmos e a logística para a transferência de pisos interfere diretamente na temperatura que o ativo vai chegar para ser dosado e conseqüentemente na quantidade de matéria prima dosada. Então, para que o resto de produto nos tambores seja reduzido a zero, foi proposto a substituição desse sistema de dosagem por tambores para isocontainers que seria interligado através de tubulações até o reator R2020, em que ocorre a dosagem.

Tabela 7 – Dosagem de Pyraclostrobim

Quantidade PYRA por batelada (kg)	Quantidade dosado PYRA pela balança campo	Oportunidade redução Resto PYRA nos tambores (batelada)	Comentários	Produto
3600	3508,3	91,7	Subiram 2 paletes com 4 tambores PYRA cada + 2 paletes com 4 tambores PYRA cada (primeira dosagem sem interferência, só observando "as-is")	Orkestra
3600	3546,5	53,5	Subiram 2 paletes com 4 tambores PYRA cada + 1 palete com 4 tambores + 1 palete com 4 tambores	Abacus
3600	3546,5	53,5	Subiu 1 palete com 4 tambores de Pyra e assim por diante, um palete por vez	Abacus
3600	3559,0	41,0	Subiu 1 palete com 4 tambores de Pyra e assim por diante, um palete por vez	Abacus
3600	3536,9	63,1	Subiu 1 palete com 4 tambores de Pyra e assim por diante, um palete por vez (dosagem sem acompanhamento checklist)	Orkestra
3600	3558,6	41,4	Subiu 1 palete com 4 tambores de Pyra e assim por diante, um palete por vez	Orkestra
3600	3542,6			
3600	17,1			
3600	3559,0			
3600	3508,3			
3600	3546,5			
3600	3558,7			
<=1,0	<=15,0		A ser validado e definido pelo time FFP	

Fonte: Autor (2022)

### 3.3.7. Instalar indicador de vazão na linha do Pyraclostrobim

A quantidade exata de Pyraclostrobim dosado durante o processo só é obtida quando ocorre o acompanhamento da dosagem em campo ao fazer anotações da balança manual presente. Para que a mesma possa ser acompanhada no PIMS, facilitando o estudo e monitoramento da variável futuramente, propomos a instalação de um indicador de vazão nessa linha.

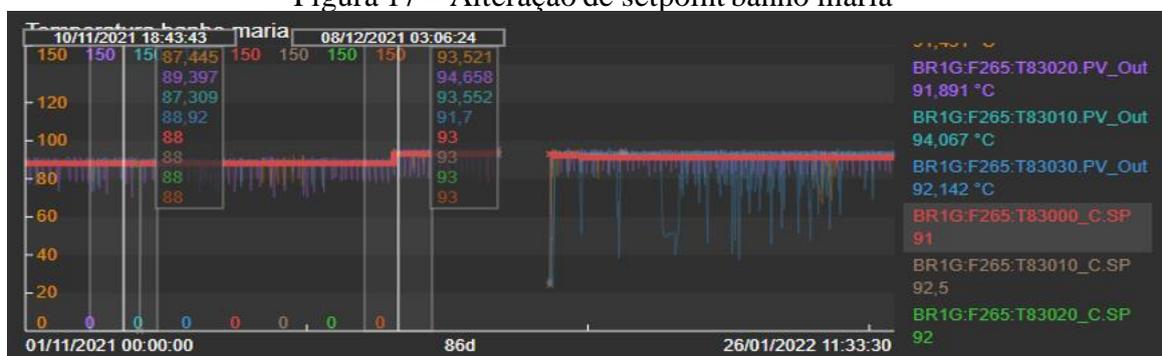
### 3.3.8. Instalar isolamento nas tubulações

O isolamento nas tubulações serve para que não ocorra uma troca de calor da substância com a atmosfera. A linha do trocador de calor não possui esse isolamento, o que está diminuindo a eficiência de troca térmica. Então, para melhorar essa eficiência, propomos a instalação de isolamento nas tubulações na linha.

## 3.6 Discussões

Dentre as oito medidas propostas para o gerente da planta de fungicidas, apenas uma delas já foi implementada, a alteração do setpoint do banho maria de 88 °C para 93 °C que ocorreu em dezembro de 2021 (Figura 17).

Figura 17 – Alteração de setpoint banho maria



Fonte: Autor (2022)

Esta alteração aumentou a temperatura em que o ativo chegava para a etapa de dosagem contribuindo para o aumento da quantidade de matéria-prima dosada por tambor. Ao realizar um estudo estatístico de algumas bateladas no período antes da alteração do setpoint (Tabela 8), obtivemos uma mediana de 3432,0 Kg de matéria-prima dosada por batelada em um tempo de dosagem de 1,4 horas. Em comparação com o estudo realizado após a alteração do setpoint (Tabela 9) em que a mediana obtida foi de 3482,5 Kg por batelada e 1,0 hora de dosagem, observamos que a quantidade de matéria-prima perdida por batelada passou para 117,5 Kg que em comparação com a anterior de 168,0 Kg, traz um benefício de 50,5 Kg recuperados de matéria-prima por batelada. Além disso, o tempo necessário para a dosagem diminuiu em 0,4 horas.

Tabela 8 – Estudo dosagem com setpoint a 88 °C

Massa Final (M.F.) (kg)	$\Delta W$ (R2020) (kg)	Tempo de Dosagem
8763	3812	1,2
8784	3806	1,1
8861	3809	1,5
8784	3750	1,1
8541	3518	1,0
8853	3834	1,4
8476	3597	1,0
8741	3687	1,4
8712	3637	0,7
8748	3708	1,1
8684	3659	1,2
8707	3657	1,5
8757	3693	1,6
8745	3652	1,5
8767	3703	2,4
8721	3690	1,5
8737	3700	1,2
8732	3712	1,5
8765	3725	2,0
8748	3723	1,8
8689	3654	2,4
<b>AVG</b>	<b>3433,2</b>	<b>1,4</b>
<b>STD</b>	<b>73,5</b>	<b>0,4</b>
<b>MAX</b>	<b>3566,0</b>	<b>2,4</b>
<b>MIN</b>	<b>3250,0</b>	<b>0,7</b>
<b>MED</b>	<b>3432,0</b>	<b>1,4</b>
<b>Quartil 3 (75%)</b>	<b>3457,0</b>	<b>1,5</b>
	168,0	
	<b>11,2 perda por tambor</b>	

Fonte: Autor (2022)

Tabela 9 – Estudo dosagem com setpoint a 93 °C

Massa Final (M.F.) (kg)	$\Delta W$ (R2020) (kg)	Tempo de Dosagem
8787	3825	1,0
8517	3499	0,6
8259	3268	1,2
8852	3772	1,0
8837	3867	0,8
8794	3736	1,0
8767	3726	1,4
8793	3765	1,1
8889	3902	1,3
8826	3815	0,9
8831	3695	1,1
8712	3716	1,0
8708	3710	1,3
8858	3715	1,0
8838	3775	0,9
8799	3720	1,0
8748	3699	1,0
8873	3831	1,1
8963	3905	1,0
8924	3888	1,3
<b>AVG</b>	<b>3473,5</b>	<b>1,0</b>
<b>STD</b>	<b>141,9</b>	<b>0,2</b>
<b>MAX</b>	<b>3637,0</b>	<b>1,4</b>
<b>MIN</b>	<b>3000,0</b>	<b>0,6</b>
<b>MED</b>	<b>3482,5</b>	<b>1,0</b>
<b>Quartil 3 (75%)</b>	<b>3558,5</b>	<b>1,1</b>
	117,5	<b>0,4 h</b>
	7,8 perda por tambor	
	<b>kg recuperado por tambor (diferença entre antes e depois 3,4 do aumento da temp)</b>	
	<b>50,5 kg por batelada</b>	

Fonte: Autor (2022)

A próxima medida a ser implementada será a substituição do trocador de calor tipo placa para o tipo casco-tubo que necessita de um investimento de EUR 166.000,00, no pior cenário (Tabela 10). Para chegar nesse valor precisamos entender como o valor de baseline foi calculado. A primeira parte deste investimento está relacionada ao custo de um equipamento novo (EUR 23.000,00). A segunda parte está relacionada ao custo de

implementação: engenharia, tubulações, instrumentação, dentre outros fatores que podem ser observados pela marcação 1. Este percentual relacionado a cada fator já é pré-definido pela empresa e é em relação ao valor do equipamento. A soma destas duas partes multiplicadas por um fator de 1,23 é igual ao baseline (EUR 119.000,00). Já o valor do investimento no pior cenário é a multiplicação do baseline por um fator de 1,4. Sendo ambos os fatores já pré-definidos pela empresa. Levando em consideração esse investimento e benefício potencial estimado de EUR 981.000,00 com 80% de chance de sucesso, percentual estipulado pela área como uma margem de segurança, o investimento se pagaria em um período de aproximadamente dois meses.

Tabela 10 – Custo trocador de calor casco – tubo

Quantidades de bateladas produzidas 2020		Horas parada produção In Situ 2020			
299	bat/Orquestra	36,3	h/a Orkestra	2,782520221	bat/a
151	bat/Abacus	18,3	h/a Abacus	1,594618357	bat/a
450	bat/Orquestra + Abacus				
		Potential benefit	1.226 kEUR	100%	Chance of Success
			981 kEUR	80%	Chance of Success
					51 %a
Investimento estimado					
Usado valor trocador casco-tubo Pfaudler 4.2 m² similar W5106 G200 estimado 100 kl/40%		140	kEFL		
6.14	New W8600	23	kEUR		
		114	kEUR	74	kEUR
				97	kEUR
		119	Baseline		
		166	Worst case		
		71	Best case		
Pay Back Time		0,17	ano		
		2,04	meses/ano		
				1	k€
				%	Assembly cost
				3	15% Engineering
				5	20% Mechanical equipment
				23	100% Piping
				9	40% Instrumentation
				9	40% Electrical
				17	75% Civil
				2	8% Isolation
				1	5% Painting of pipes
				5	Number of I.O (automation)
				74	kl

Fonte: Autor (2022)

A medida de substituição do sistema de dosagem do ativo Pyraclostrobim de tambores para isocontainers está em processo de análise de viabilidade. Atualmente a matéria-prima é importada no estado sólido via transporte marítimo e caso haja a substituição do tipo de dosagem passaria a ser importada no estado líquido. A questão logística ainda está sendo avaliada, porém o benefício potencial da implementação desta medida já foi calculado trazendo um valor de R\$12.488.755,45 caso tenha 100% de sucesso e R\$9.991.004,36 considerando 80% de chance de sucesso (Tabela 11). Este benefício foi calculado levando em consideração uma média de 4Kg de matéria-prima perdida por tambor multiplicada pela média da quantidade de matéria-prima utilizada nos últimos três anos multiplicada pelo preço da matéria-prima.

Tabela 11 – Benefício isocontainer Pyraclostrobin

	Preço Pyraclostrobin por kilo	229 BRL/kg
Benefício potencial com 100% chance de sucess	<b>R\$ 12,488,755.45</b>	BRL/Pyra perdido por ano no tan
Benefício potencial com 80% chance de sucesso	<b>R\$ 9,991,004.36</b>	80% Chance of Success
Isocontainer	25,000 kg/isocontainer	
Benefício potencial eliminação tambores Pyra	153 isocontainer/ano	
Consumo por batelada Abacus e Orkestra	3,600 kg/batelada	
Batelada Abacus e Orkestra por isocontainer	6.9 bat/isocontainer	
Consumo diário Pyraclostrobin	15,956 kg/dia	considerando 8 meses produçã O.A.E.= 66.70%

Fonte: Autor (2022)

As outras cinco propostas ainda não foram implementadas porém possivelmente irão gerar mais benefícios para planta em questão de confibialidade, capacidade e qualidade do produto assim que forem concretizadas.

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo foi realizado através da metodologia de otimização técnica de processos com o intuito de aumentar a confiabilidade e capacidade da planta de fungicidas, englobada no maior segmento da BASF S.A, sendo responsável por movimentar uma grande parte da receita anual da empresa. Por se tratar de um processo composto por diversas etapas, apenas uma foi analisada profundamente, a que apresentava os maiores problemas para o processo.

Sendo assim, a etapa analisada ocorre no reator R2020 e os equipamentos que influenciam no funcionamento do mesmo. Através de um estudo das variáveis do processo, fluxogramas, falhas de equipamentos e perdas na produção foram identificados alguns problemas que estavam ocasionando na perda de confiabilidade e qualidade da planta. Para saná-los, foram apresentadas oito propostas de melhorias: alterar a localização do trocador de calor e da purgo-bomba; substituir trocador de calor de placas W8600 para casco-tubo; instalar válvula automática na entrada de vapor do W8600; melhorar controle de temperatura para o W8600; aumentar setpoint de temperatura do banho maria de 88 °C para 93 °C; substituir sistema de dosagem do Pyraclostrobim de tambores para isocontainers; instalar indicador de vazão na linha do Pyraclostrobim; e instalar isolamento nas tubulações.

Dentre estas, apenas uma já foi implementada, a que não necessitava de nenhum investimento, possuía uma implementação fácil e ganhos rápidos para a planta. A proposta de aumento do setpoint de temperatura do banho maria de 88 °C pra 93 °C trouxe um benefício com a redução de desperdício de matéria-prima em aproximadamente 50,5 Kg por batelada e uma redução no tempo de dosagem de 0,4 horas. Para que esta medida seja ainda mais eficiente, os parâmetros de controle das temperaturas do banho maria precisariam ser verificados por apresentarem uma oscilação grande.

Dentre as propostas restantes, uma já foi precificada e está caminhando para o processo de implementação, outra está em análise de viabilidade e já tem seu potencial de benefício calculado e as restantes ainda estão sobre análise para ordem de execução. Apesar de ainda não terem sido implementadas, estas propostas provavelmente irão gerar mais benefícios assim que forem concretizadas.

A metodologia utilizada se mostrou bastante eficiente por identificar diversos pontos de melhorias na etapa estudada. Porém, para que o processo de fabricação de fungicidas se torne cada vez mais confiável, com mais capacidade e qualidade dos produtos, é necessário

que os gerentes da planta implementem todas as melhorias sugeridas, além de continuar a parceria com o time de excelência operacional para que todas as etapas desse processo sejam analisadas profundamente através da metodologia de otimização técnica de processos.

## 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AXPR. **Atuadores: Descubra como escolher o modelo ideal**. Disponível em: <https://axpr.com.br/blog/atuadores-descubra-como-escolher-o-modelo-ideal/?msclkid=20b3eb62aa4011ecb294e013bd2aa1de>. Acesso em: 19 mar. 2022.

BERGMAN, Theodore L. et al. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. p. 1-1076.

BONGAS. **ATUADOR PNEUMÁTICO: O QUE É, TIPOS E VANTAGENS**. Disponível em: <https://bongas.com.br/atuador-pneumatico-o-que-e-tipos-vantagens/#:~:text=Atuador%20Pneum%C3%A1tico%20%C3%A9%20um%20dispositivo%20que%20converte%20a,Alta%20durabilidade%2C%20baixo%20custo%20de%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20e%20pre%C3%A7o.?msclkid=48311a4daa4011ecb02715d9bd13b30e>. Acesso em: 19 mar. 2022.

FARIA, Joana R. C. **Monitorização e Diagnóstico Automático de Purgadores em Linhas de Vapor Industriais através de Sensores Inteligentes Sem Fios**. Coimbra: UC, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/28048>. Acesso em: 5 mar. 2022.

FELDER, Richard M.; ROUSSEAU, Ronald W. **Princípios Elementares dos Processos Químicos**. 3. ed. [S.l.]: LTC, 2011. p. 1-575.

FOGLER, H. Scott. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**. 4. ed. [S.l.]: Pearson Education Inc., 2006. p. 1-853.

GUT, Jorge A. W. **Configurações ótimas para trocadores de calor a placas**. São Paulo: USP, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-22102003-093322/pt-br.php>. Acesso em: 5 mar. 2022.

HOLLOWAY, Michael D.; NWAHOHA, Chikezie; ONYEWUENYI, Oliver A. **PROCESS PLANT EQUIPMENT: Operation, Control, and Reliability**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012. p. 1-697.

KALATEC AUTOMAÇÃO. **Processos industriais: o que são, como funcionam e como gerir**. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/processos-industriais/>. Acesso em: 2 abr. 2022.

LTDA, N. P. E. **Controle PID Básico**. *Novus*, *Novus*, v. 1, n. 1, p. 1-6, jan. 2003. Disponível em: <https://www.novus.com.br/artigosnoticias/arquivos/ArtigoPIDBasicoNovus.pdf?msclkid=76ae7788aa3e11eca27aa26528e593d3>. Acesso em: 5 mar. 2022.

MGA. **Atuadores**. Disponível em:

<https://www.mga.com.br/produtos/categoria/atuadores>. Acesso em: 19 mar. 2022.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010. p. 1-809.

OMEGA. **Sensores Pt-100 Introdução às Termoresistências**. Disponível em: <https://br.omega.com/prodinfo/pt100.html>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ROCHA, S.A. et al. **Operador de processos químicos industriais**. 1. ed. Paraná: IFPR, 2012. p. 1-122.

SILVA, Marianne Tinoco. Et al. **Construção de um trocador de calor tubular em espiral**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. ano 4, v. 4, ed. 9, p. 82-104, Set. 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/tubular-em-espiral#13-TROCADOR-TIPO-PLACA>. Acesso em: 5 mar. 2022.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Reator industrial**. Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/reatorinox/produtos/instalacoes-e-equipamentos-industriais/reator-industrial>. Acesso em: 19 mar. 2022.

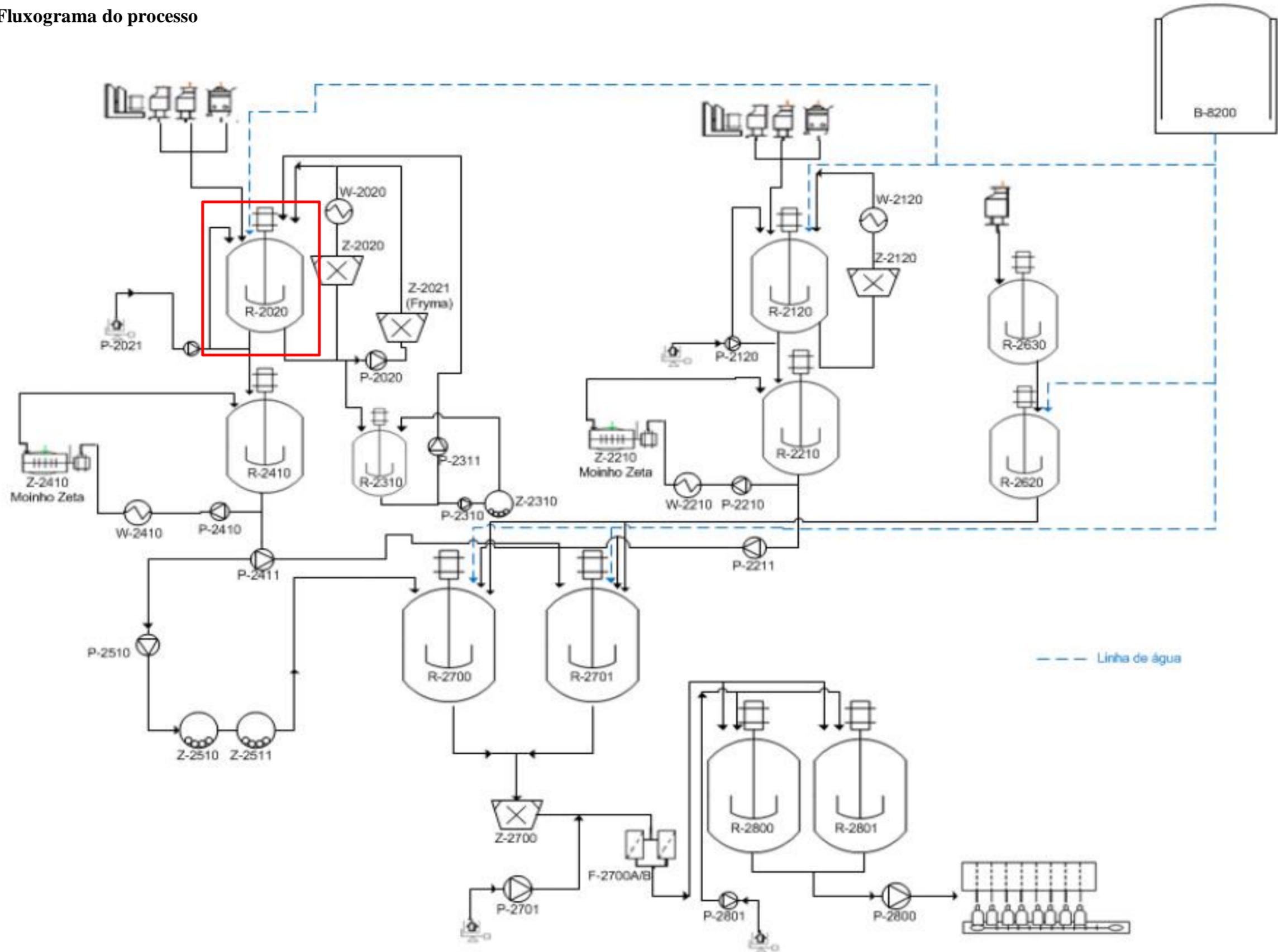
STATION, Control; INC. **Practical Process Control: Fundamentals of Instrumentation and Process Control**. 1. ed. [S.l.]: Control Station, Inc., 2005. p. 1-159.

TANNURI, Eduardo A. **Apostila sobre PID e Métodos de Sintonia**. [São Paulo]. USP, [20--]. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdisciplinas.usp.br%2Fpluginfile.php%2F5123982%2Fmod\\_resource%2Fcontent%2F1%2FApostila%2520sobre%2520PID%2520e%2520M%25C3%25A9todos%2520de%2520Sintonia.pdf&chunk=true&pdffilename=Apostila%20sobre%20PID%20e%20M%C3%A9todos%20de%20Sintonia.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdisciplinas.usp.br%2Fpluginfile.php%2F5123982%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FApostila%2520sobre%2520PID%2520e%2520M%25C3%25A9todos%2520de%2520Sintonia.pdf&chunk=true&pdffilename=Apostila%20sobre%20PID%20e%20M%C3%A9todos%20de%20Sintonia.pdf). Acesso em: 5 mar. 2022.

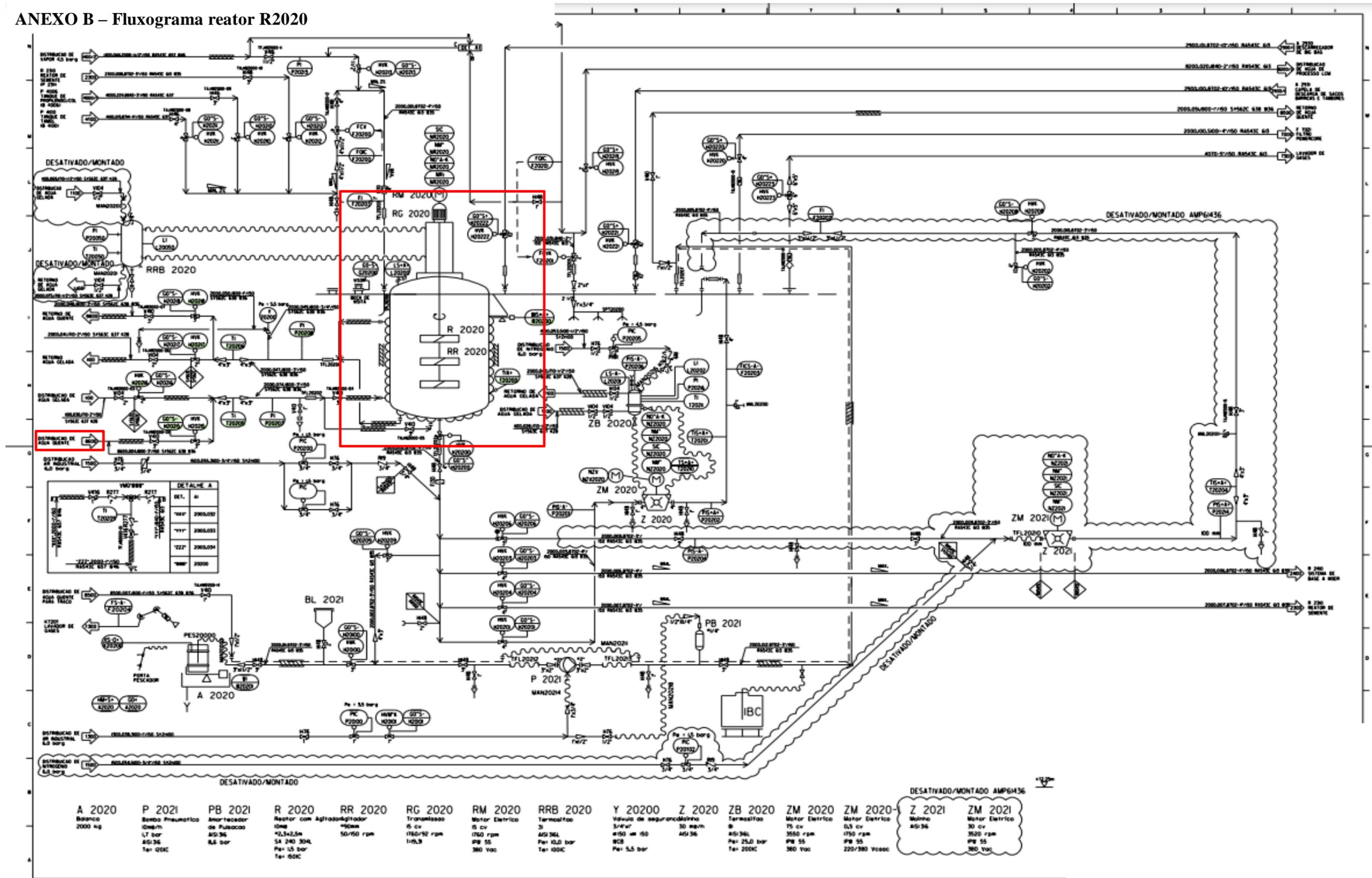
WWM. **Retubagem de trocadores de calor**. Disponível em: <https://wwmconsultoria.com/retubagem-de-trocadores-de-calor/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ZURICH. **PT-100 Conheça a Linha de Sensores PT-100**. Disponível em: <https://www.zurichpt.com.br/pt-100.php>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ANEXO A – Fluxograma do processo



ANEXO B – Fluxograma reator R200



ANEXO C – Fluxograma trocadores de calor

