

UNIVERSIDADE ESTADUAL “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

GUILHERME LOPES DO CARMO

**APLICAÇÃO DO CICLO PDCA EM PARADA GERAL DE UMA INDÚSTRIA
QUÍMICA**

Ilha Solteira-SP

2024

GUILHERME LOPES DO CARMO

**APLICAÇÃO DO CICLO PDCA EM PARADA GERAL DE UMA INDÚSTRIA
QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
de Ilha Solteira – FEIS, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes

Ilha Solteira-SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C287a Carmo, Guilherme Lopes do.
Aplicação do ciclo PDCA em parada geral de uma indústria química /
Guilherme Lopes do Carmo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
42 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2024

Orientador: Miguel Ângelo Menezes

Inclui bibliografia

1. PDCA. 2. NR-13. 3. Ferramenta de gestão. 4. Planejamento. 5. Indústria
química.


Amanda Sertori dos Santos

Biblioteca - CDS/1-908
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação


ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 10 dias do mês de Janeiro do ano de dois mil e vinte e quatro, as 18h30min, por videoconferência, no Departamento de Engenharia Mecânica, do Campus da UNESP, da Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, o discente **Guilherme Lopes de Carmo**, matriculado sob o número 171053524, tendo como banca examinadora, o orientador Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes, o Engenheiro Mecânico Matheus de Oliveira Camacho (*Silver Manutenção Industrial*) e o Prof. Dr. José Gedael Fagundes Júnior apresentou o Trabalho de Graduação intitulado: "*Aplicação do Ciclo PDCA em Parada Geral de uma Indústria Química*", obtendo a nota final 9,0 (Nove).

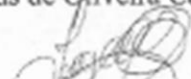
Por ser verdade, os membros da banca examinadora e o discente assinam em seguida.



Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes (Orientador)

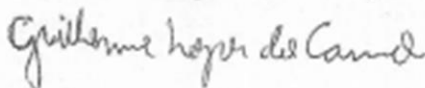


Eng. Mec. Matheus de Oliveira Camacho (Silver Man. Ind.)



Prof. Dr. José Gedael Fagundes Júnior

Guilherme Lopes de Carmo (Discente)



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que são minha inspiração, sempre me apoiaram em qualquer condição e me deram a oportunidade de seguir os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me guiou e iluminou meus passos por toda a minha vida, sendo meu consolo nos momentos de angústia e cansaço.

Aos meus pais, por ser uma base sólida na minha vida, me apoiando em todas as situações.

A toda a minha família, por ser meu porto seguro, a quem eu sei que posso contar a qualquer momento.

Aos meus companheiros da equipe Fênix Racing, onde eu construí amizades para a vida toda e aprendi como o trabalho árduo compensa.

A todas as amizades que construí durante a graduação, que foram companhia nos bons e maus momentos.

Aos meus colegas de trabalho na Nouryon, que em nenhum momento hesitaram em me ajudar e ensinar.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica, pelo esforço na nobre missão que é a educação.

EPÍGRAFE

“Ebenézer! Até aqui nos ajudou o Senhor!” | Samuel 7.12

RESUMO

CARMO, G. L. do. **Aplicação do ciclo PDCA em parada geral de uma indústria química.** 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS, Ilha Solteira-SP, 2023.

O presente trabalho tem por objetivo discutir a ferramenta de gestão PDCA, e demonstrar a sua viabilidade de aplicação em uma das etapas de risco da Indústria Química, em atendimento a NR-13. Com base em conceitos e observações que descrevem o PDCA, a NR-13 e a indústria química; durante um período de estágio curricular obrigatório; em uma Indústria Química, a NOURYON; foi possível aplicar, acompanhar e coletar dados relevantes de uma parada geral, que permitiram consolidar o presente trabalho, particularmente, através da ferramenta PDCA. Isto, através da comparação de resultados obtidos através da curva “S”, entre a curva real das horas executadas com a curva de planejamento, em que se verificou poucos desvios entre o planejado e o real. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, que retratam o desempenho das horas efetivamente trabalhadas durante a Parada Geral, pode ser concluído que se atingiu 100% do cronograma planejado.

Palavras-chave: PDCA; NR-13; Ferramenta de Gestão; Planejamento e Indústria Química

ABSTRACT

CARMO, G. L. do. **Application of the PDCA cycle in a general shutdown of a chemical industry.** 41 f. Course Completion Work (Graduation in Mechanical Engineering) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – School of Engineering of Ilha Solteira – FEIS, Ilha Solteira-SP, 2023.

The present work aims to discuss the PDCA management tool, and demonstrate its feasibility of application in one of the risk stages of the Chemical Industry, in compliance with NR-13. Based on concepts and observations that describe PDCA, NR-13 and the chemical industry; during a mandatory curricular internship period; in a Chemical Industry, NOURYON; it was possible to apply, monitor and collect relevant data from a general stop, which allowed consolidating this work, particularly through the PDCA tool. This, through the comparison of results obtained through the “S” curve, between the real curve of hours executed and the planning curve, in which there were few deviations between the planned and the real. Therefore, based on the results obtained, which portray the performance of the hours actually worked during the general Shutdown, it can be concluded that close to 100% of the planned schedule was achieved.

Keywords: PDCA; NR-13; Management Tool; Planning and Chemical Industry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo PDCA de Controle de Processos	15
Figura 2 – Instalações para produção de ClO ₂	17
Figura 3 – Instalações Eldorado Brasil	18
Figura 4 – Conceito de Ilha Química	19
Figura 5 – Fábrica de sapatos <i>Groover</i> antes da explosão da caldeira (1905)	22
Figura 6 – Fábrica de sapatos <i>Groover</i> após a explosão da caldeira (1905)	22
Figura 7 - Classificação de Vasos de Pressão	23
Figura 8 - Prazos máximos para as inspeções de segurança periódicas	23
Figura 9 - Base de bomba deteriorada	28
Figura 10 - Base de bomba durante o tratamento	29
Figura 11 - Conjunto montado após tratamento e pintura	29
Figura 12 - Funcionamento do sistema de refrigeração	30
Figura 13 - Funcionamento de uma torre de resfriamento	32
Figura 14 - Torre de resfriamento da <i>Nouryon</i> Unidade de Jupiá	32
Figura 15 - Conjunto de <i>Water-Cooler Chillers</i> - Unidade de Jupiá	33
Figura 16 - Tampa traseira do evaporador antes do tratamento	34
Figura 17 - Tampa dianteira do condensador antes do tratamento	34
Figura 18 - Detalhes do desgaste devido à presença de cavaco e contaminantes na água de resfriamento	35
Figura 19 – Condensador (direita) e evaporador (esquerda) após tratamento	38
Figura 20 – Curva S – Parada Geral	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema da Pesquisa	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
2.3 Justificativa	13
3 REVISÃO NA LITERATURA	14
3.1 O Ciclo PDCA	14
3.2 Conceitos de Manutenção	15
3.2 Indústria Química	16
3.2.1 A Ilha Química	19
3.3 Norma Regulamentadora NR-13	21
3.3.1 Parada Geral	24
4 METODOLOGIA	25
5 DESENVOLVIMENTO	26
5.1 Executando o Ciclo PDCA na Prática	26
5.2 Planejamento de Manutenção	26
5.2.1 Planejamento de Parada Geral	29
5.3 Principais Atividades da Parada Geral	29
5.3.1 Inspeção e Limpeza dos <i>Chillers</i>	30
5.4.1 Planejamento	32
5.4 Ciclo PDCA na Manutenção dos <i>Chillers</i>	33
5.4.1 Planejamento	33
5.4.2 Execução	36
5.4.3 Verificação	37
5.4.4 Atuação corretiva	38
5.5 Análise dos Resultados Obtidos	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	40
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	41

1 INTRODUÇÃO

Uma boa gestão, pautada em melhoria contínua, é uma das prioridades para a maioria das empresas que almejam um diferencial ou a manutenção da competitividade em meio à concorrência no mercado atual. Saber utilizar as técnicas, ferramentas e tecnologias que surgem, se torna imprescindível, no intuito de qualificar cada vez mais o sistema produtivo obtendo aumento de produtividade e redução de custos significativos ao longo do processo (CARPINETTI, 2012).

O ciclo PDCA (Planejamento; Direção; Controle; e Avaliação) é considerado um método de tomada de decisão gerencial que tem como objetivo primordial alcançar as metas necessárias para que a empresa se estabeleça no mercado. Assim, o PDCA é utilizado como método de controle, de ordem prática. Uma ferramenta utilizada para a aplicação das ações de controle nos mais diversos processos realizados, visando alcançar a máxima eficiência e qualidade dos serviços, podendo ser utilizados em diferentes áreas de atuação, como, por exemplo, na Indústria Química, com vistas ao planejamento de alcance de qualidade, manutenção de padrões e diretrizes mais altas, analisando todo o processo e propondo melhorias.

1.1 Problema da Pesquisa

Ao se considerar que existe uma Norma Regulamentadora, NR-13, que exige a manutenção de vasos de pressão e caldeiras, e que para o atendimento de tal demanda é necessário realizar uma interrupção das atividades e da cadeia produtiva (Parada Geral), surgiu a seguinte indagação: De que forma o ciclo PDCA poderia ser utilizado como ferramenta para gestão das ações de controle envolvidas, neste processo específico, visando alcançar a máxima eficiência e qualidade dos serviços de uma determinada Indústria Química.

Considerando a relevância da questão abordada, descreve-se na sequência os objetivos, a justificativa e a trajetória metodológica desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Relatar o processo de aplicação da ferramenta Ciclo PDCA em uma Parada Geral de uma Indústria Química. Identificar, analisar e descrever o processo de planejamento e relatar os resultados obtidos.

2.2 Objetivos específicos

- Contextualizar sobre o Ciclo PDCA;
- Contextualizar sobre as características da Indústria Química;
- Contextualizar sobre a NR-13;

2.3 Justificativa

Enquanto graduando do curso de Engenharia Mecânica, tem-se a oportunidade de realizar o estágio curricular obrigatório, possibilitando acompanhar a rotina e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos, durante a formação acadêmica, em uma empresa. Tal modalidade de vivência foi permitida na unidade de Jupiá da *Nouryon Pulp and Performance Chemicals*. Nesta indústria química, as atividades realizadas proporcionaram uma experiência que convergiu para a opção por desenvolver um estudo que envolvesse a temática Gestão de Processos, em especial, a aplicação do ciclo PDCA como ferramenta para gestão das ações de controle envolvidas na Parada Geral.

3 REVISÃO NA LITERATURA

3.1 O ciclo PDCA

A NBR ISO 9000 (ABNT, 2015), define Gestão da Qualidade como um conjunto de tarefas estruturadas para administrar uma organização com relação a qualidade, integrando planejamento, controle, garantia e melhoria da qualidade. Para a execução de tais atividades, faz-se necessário a utilização de ferramentas de qualidade para as fases de coleta, processamento e estruturação das informações necessárias para a aplicação das etapas do PDCA (SILVA JUNIOR; CALLEFI, 2020).

O PDCA surge a partir do ciclo de Shewhart, engenheiro americano, precursor do controle estatístico para o controle da qualidade. Ele transforma em círculo, o modelo linear de produção Taylorista (reproduzido por Ishikawa) - o *plan -do - see* (planeje, execute e veja), utilizado como referência para o planejamento das etapas básicas de um processo produtivo. Essa pequena modificação transformou o modelo de ciclo aberto para um ciclo fechado, dinâmico, de realimentação, em que os resultados obtidos numa etapa são considerados no planejamento da próxima etapa. Isso permite um aprimoramento pela análise dos erros e problemas das fases anteriores (ORIBE, 2009).

De acordo com Campos (2004), o PDCA é executado ao se percorrer um ciclo composto de quatro etapas distintas, mas interligadas. Tais etapas podem ser representadas conforme apresentado na Figura 1.

O ciclo e etapas que o compõem, podem ser descritas da seguinte forma:

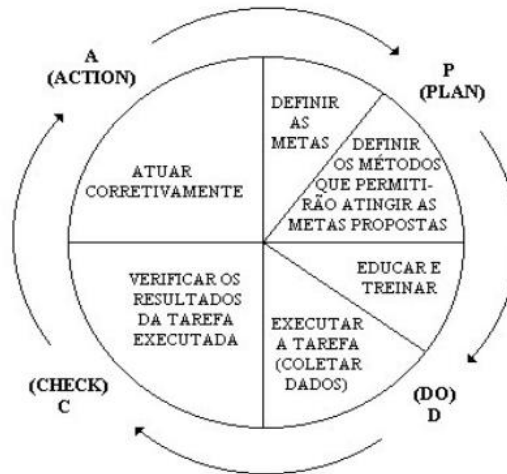
Planejamento: iniciando-se pelo P (*Plan*), onde as metas e maneiras para alcançá-las são estabelecidas.

Execução: seguindo-se pelo D (*Do*), por meio de treinamentos baseados no planejamento elaborado, deve-se executar as tarefas definidas e coletar dados sobre elas.

Verificação: seguindo-se pelo C (*Check*), onde será feita a comparação entre os dados coletados a partir dos resultados da execução e a meta estabelecida inicialmente.

Atuação corretiva: encerrando em A (*Action*) por meio da análise do processo, detectando imprecisões e realizando alinhamento com a finalidade de impedir que o problema volte a ocorrer.

Figura 1 – Ciclo PDCA de Controle de Processos



Fonte: Campos, 2004.

3.2 Conceitos de Manutenção

A manutenção é parte fundamental de uma indústria, sendo o setor que garante o funcionamento e integridade dos ativos de uma empresa. Uma equipe de manutenção bem estruturada proporciona à empresa baixos níveis de perda ou redução de operação, garantindo uma maior receita.

Os principais modelos de manutenção são a manutenção corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva ocorre quando o equipamento já está em falha, podendo ainda estar em funcionamento ou operando de forma incorreta. Nesse modelo, há uma parada de produção, muitas vezes não planejada, além do alto custo de mão de obra e materiais, para a substituição de peças ou de todo o equipamento.

A manutenção preventiva ocorre de forma planejada, em que é definida uma periodicidade de inspeções para prevenir paradas inesperadas. Nesse modelo é feita uma inspeção do equipamento como um todo, além de serem executadas ações como a lubrificação de mancais, reaperto de fixadores, substituição de vedações, entre outras. Assim é possível reduzir o custo com substituições de peças de alto valor (rolamentos, por exemplo), além de evitar o prejuízo com paradas de produção.

A manutenção preditiva é feita com o acompanhamento rotineiro dos equipamentos. Pode envolver os operadores de produção, além da equipe de mantenedores. Esse modelo exige uma maior capacitação da equipe sobre o funcionamento dos equipamentos da empresa, mas possui ótimos resultados. São

analisadas características como vibração, ruído e temperatura, a fim de detectar avarias antes de se tornarem uma falha maior. Por exemplo, pode-se detectar um desalinhamento no eixo entre um motor e uma bomba através de análise de vibração. Caso essa avaria demore para ser detectada, pode ocorrer um dano permanente em um rolamento, sendo necessária a parada de produção para sua substituição.

3.3 Indústria Química

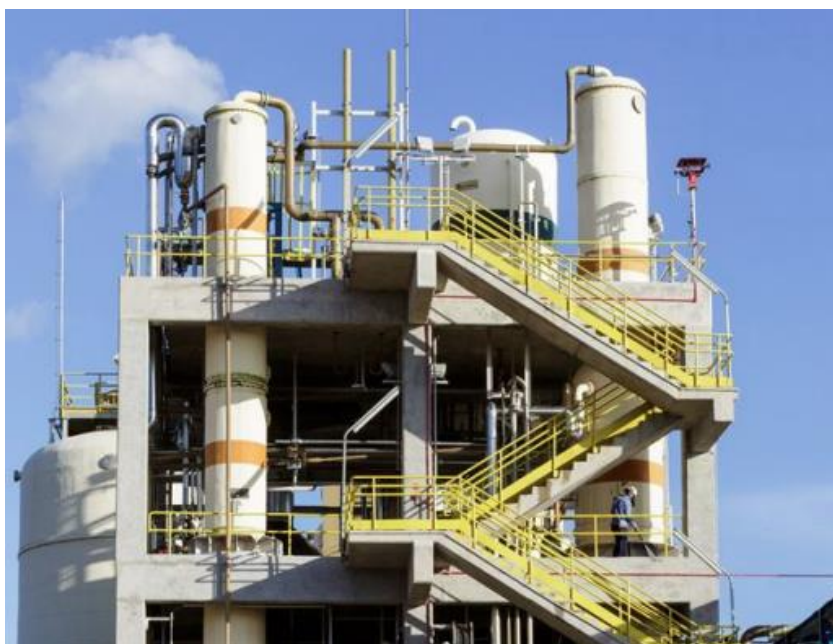
A *Nouryon* é uma empresa multinacional de especialidades químicas, formada oficialmente em outubro de 2018, sendo conhecida anteriormente como *AkzoNobel Specialty Chemicals*. Porém, sua história se estende remonta 400 anos, passando por fusões e aquisições em diversos países, como Suécia, Holanda, Alemanha, Brasil, China e Estados Unidos. Atualmente, a empresa está presente em mais de 80 países e tem como carro chefe o fornecimento de soluções para a fabricação de produtos do dia a dia, como papéis, itens de higiene e farmacêuticos, plásticos, entre outros. No Brasil, sua principal atividade é o fornecimento de produtos para o branqueamento da celulose, em um modelo de negócio chamado de ilha química. A *Nouryon* possui 10 unidades no Brasil, com sede administrativa em Jundiaí – SP (NOURYON, 2023).

A planta industrial Jupia, da *Nouryon*, localizada em Três Lagoas - MS, produz Clorato de Sódio e Dióxido de Cloro, para atendimento direto da Indústria de Celulose Eldorado Brasil, que utiliza o dióxido no processo de branqueamento da celulose. Além da fabricação dos químicos citados, a empresa também faz a gestão logística de soda cáustica, ácido sulfúrico, talco, peróxido de hidrogênio, entre outros (NOURYON, 2023).

O dióxido de cloro (ClO_2) é o agente branqueador mais comum nas fábricas de celulose modernas. Sua produção se deve a reação entre clorato de sódio (NaClO_3) e metanol (CH_3OH) em uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4). O dióxido é obtido como gás, mas é armazenado e enviado como solução aquosa devido a sua natureza. O gás tem a tendência de se dissociar da água, portanto seu armazenamento é feito sob pressão e temperatura controladas, para evitar decomposições. O processo utilizado pela *Nouryon* é moderno e possui diversas vantagens em relação a tecnologias anteriores. A utilização de clorato livre de cloreto gera uma menor quantidade de cloro como subproduto, reduzindo os níveis de

compostos orgânicos clorados no efluente da fábrica de celulose. O processo à base de metanol é mais rápido do que sistemas mais antigos baseados em cloro, aumentando a eficiência da fábrica. E a quantidade de sesquisulfato ácido de sódio produzida é menor do que em processos a base de salmoura (NOURYON, 2023).

Figura 2 – Instalações para produção de ClO₂



Fonte: Nouryon Pulp and Performance Chemicals, 2023.

O clorato de sódio (NaClO₃) é uma das matérias primas do dióxido de cloro, mais de 90% de sua produção mundial tem essa finalidade na indústria de celulose. Além disso, o clorato possui um forte poder oxidante, sendo utilizado por outras indústrias. O processo de produção do clorato de sódio é baseado na eletrólise da salmoura, a partir de vários estágios, com alto consumo de energia elétrica e geração de hidrogênio e gás como subprodutos (NOURYON, 2023).

O surgimento de novas tecnologias leva a um aparente engano relacionado a um possível declínio do consumo de celulose. A realidade é que a demanda de celulose aumenta de acordo com o crescente aumento populacional mundial, pois é a matéria prima de diversos produtos e se apresenta como solução sustentável para o consumo de plásticos. As principais características da produção brasileira estão na origem sustentável e na qualidade dos produtos, o que torna o país em uma grande referência no mercado mundial, alcançando a colocação de segundo maior produtor de celulose do mundo (EPE, 2021).

A Eldorado Brasil é uma das maiores e mais tecnológicas indústrias de celulose no mundo (Figura 3). Com uma produção anual de mais de 1,8 milhões de toneladas, 50 MW/hora de capacidade de produção de energia elétrica a partir de biomassa e 249 mil hectares de florestas de eucalipto plantadas. A empresa exporta celulose para mais de 45 países, possuindo um terminal portuário próprio em Santos - SP, com capacidade de escoar 2,5 milhões de toneladas por ano (ELDORADO, 2023).

Figura 3 – Instalações Eldorado Brasil



Fonte: Eldorado Brasil, 2023.

3.3.1 A Ilha Química

A Ilha Química é um modelo de produção integrada, onde a *Nouryon* fornece um serviço especializado e personalizado para o cliente. A primeira experiência foi em uma fábrica de celulose em Eunápolis – BA, produzindo ótimos resultados. O modelo logo se expandiu para novas fábricas no Brasil (NOURYON, 2023).

De forma geral, a *Nouryon* constrói suas instalações dentro das dependências da indústria de celulose, produzindo clorato de sódio e dióxido de cloro, o qual é utilizado no processo de branqueamento da polpa da celulose (NOURYON, 2023).

Com a proximidade entre as duas indústrias, o dióxido de cloro pode ser bombeado diretamente para a fábrica de celulose, reduzindo riscos e gastos com

transporte. A produção de celulose gera um excedente de energia, a partir da queima do cavaco (biomassa). Essa energia é enviada para a planta química que utiliza, principalmente, no processo de eletrólise para a produção de clorato de sódio. Além do dióxido de cloro, a *Nouryon* também gerencia a logística de outros químicos utilizados na produção de celulose, tais como soda cáustica, gás hidrogênio, peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico. O tratamento de efluente também é feito pela indústria de celulose, que capta os efluentes da *Nouryon* e faz seu tratamento antes de retornar a natureza. No caso de contaminação com cloro, é feita uma neutralização com bissulfito de sódio (NaHSO_3), a fim de reduzir o dano ambiental (NOURYON, 2023).

Esse modelo de negócio proporciona grandes vantagens para ambas as partes, como redução de custos com transporte, redução do impacto ambiental, fornecimento exclusivo de serviços e produtos, geração e consumo de energia sustentável, compartilhamento de serviços terceiros (segurança, limpeza, alimentação), um contrato de longo prazo, compromisso e parceria, além de um impacto social positivo no local de instalação, devido a geração de empregos (NOURYON, 2023).

Na sequência é apresentado um infográfico, disponibilizado pela *Nouryon* em 2011, contendo uma descrição detalhada do seu modelo de manufatura integrada.

Conceito de Ilha Química da AkzoNobel

A unidade de negócios de Pulp and Performance Chemicals da AkzoNobel opera ilhas químicas que servem a vários moinhos de celulose no Brasil.



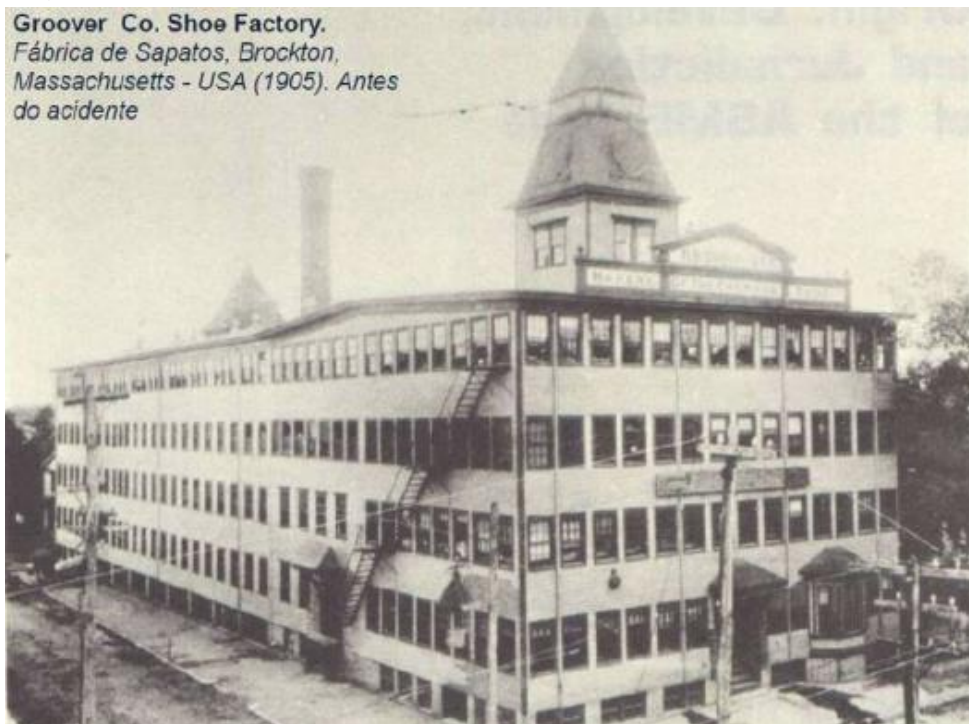
3.4 Norma Regulamentadora NR-13

O início do século XX foi um período de crescimento econômico em diversos países, como França, Alemanha, Itália, Bélgica, Japão e Estados Unidos. Com o prelúdio da Primeira Guerra Mundial a demanda por produtos químicos, em geral, aumentou muito. O desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes e de maior capacidade, impuseram aos equipamentos, até então utilizados, condições cada vez mais severas, tanto do ponto de vista físico (pressão e temperatura) quanto químico (corrosividade). As tecnologias de projeto, fabricação e materiais não acompanharam este desenvolvimento, causando um aumento assombroso de falhas e acidentes provocados por más condições físicas de equipamentos, particularmente de caldeiras (NICÁCIO, 2018).

Um marco histórico surgiu em decorrência do acidente na fábrica de calçados *Groover* (Figura 5), em *Brockton*, no estado de *Massachusetts*, EUA em março 1905, onde uma caldeira que explodiu atravessou o teto de três andares e foi pousar numa residência próxima, matando 58 pessoas e ferindo 117 neste acidente, como mostra a Figura 6. Tal situação gerou grande comoção social e um alerta a segurança industrial, dando origem as primeiras normas rígidas de segurança e um código nacional para reger operações seguras de caldeira a vapor da mencionada regulamentação foi a criação do primeiro código estadual norte-americano de projeto e fabricação de caldeiras em 1908 (NICÁCIO, 2018).

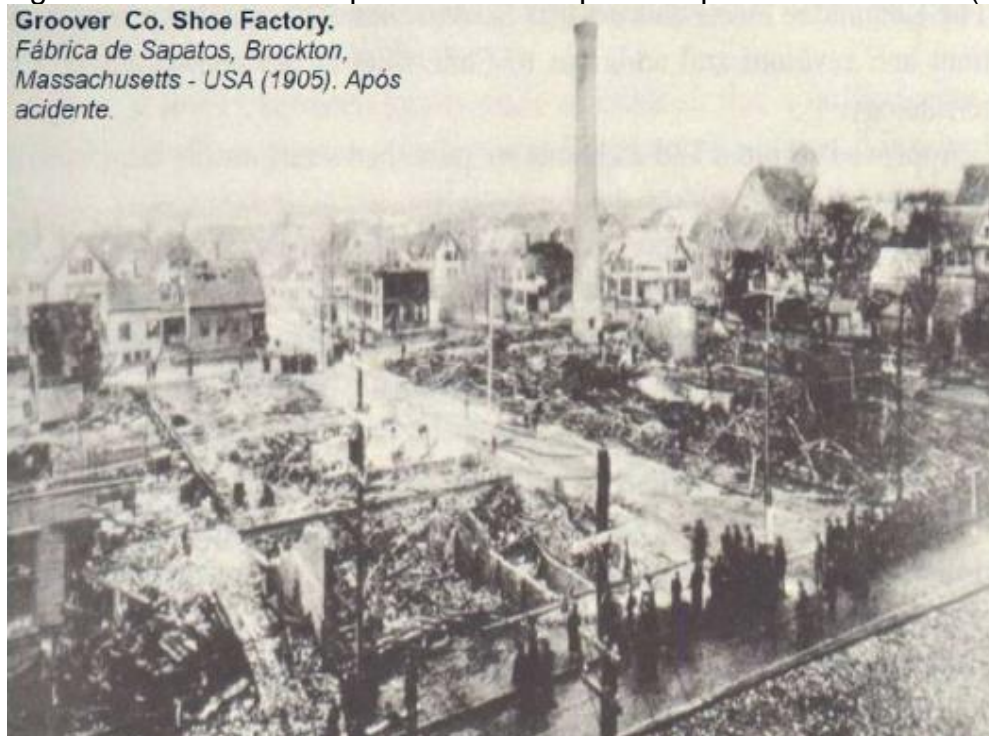
No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-13 foi instituída pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, para assegurar a segurança de Caldeiras e Vasos de Pressão. Ela estabelece todos os requisitos necessários para a gestão da integridade estrutural de caldeiras, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando a segurança e saúde dos trabalhadores (BRASIL, 1978).

Figura 5 – Fábrica de sapatos *Groover* antes da explosão da caldeira (1905)



Fonte: FUNDACENTRO, 2001.

Figura 6 – Fábrica de sapatos *Groover* após a explosão da caldeira (1905)



Fonte: FUNDACENTRO, 2001.

Os vasos de pressão são classificados conforme a classe do fluido e o produto P.V, onde P é a pressão máxima de operação em MPa e V é o seu volume em m³

(metros cúbicos). As categorias dos vasos são dispostas, conforme a tabela apresentada na Figura 7 (BRASIL, 1978).

Figura 7 - Classificação de Vasos de Pressão

CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO					
Classe de Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A - Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno	I	I	II	III	III
B - Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200 °C - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
C - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
D - Outro fluido	II	III	IV	V	V

Fonte: Brasil, 1978 – NR-13.

As categorias determinam o intervalo de tempo entre as inspeções periódicas de segurança, constituída por exames externo e interno do vaso, bem como dos dispositivos de segurança. Os períodos estão dispostos na tabela apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Prazos máximos para as inspeções de segurança periódicas

Categoria	Estabelecimento sem SPIE		Estabelecimento com SPIE	
	Exame Externo	Exame Interno	Exame Externo	Exame Interno
I	1 ano	3 anos	3 anos	6 anos
II	2 anos	4 anos	4 anos	8 anos
III	3 anos	6 anos	5 anos	10 anos
IV	4 anos	8 anos	6 anos	12 anos
V	5 anos	10 anos	7 anos	a critério

Fonte: Brasil, 1978 – NR-13.

A Nouryon faz a contratação de empresas especializadas em inspeções e laudos NR-13 para realizar os exames periódicos de segurança. Assim, é utilizado o regime estabelecido sem Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos (SPIE).

3.4.1 Parada Geral

Caldeiras, são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior a atmosférica, utilizando fontes diversas de energia, projetados de acordo com as normas pertinentes. Por ser equipamentos de risco em potencial, recebem atenção especial para a segurança e saúde das pessoas que operam ou trabalham próximas a elas. As instalações regularizadas evitam multas, embargo de equipamentos e graves acidentes (ARAUJO; TEODÓSIO; CAMPOS, 2019).

O objetivo da parada é fazer a manutenção geral e ajustes dos equipamentos, para o cumprimento de normas e aplicação de projetos de engenharia. Instalações industriais mantidas de forma inadequada ou com sua manutenção negligenciada, em algum momento precisarão de reparos dispendiosos, devido ao desgaste ocorrido ao longo do tempo. Quando as medidas de segurança são adotadas, os equipamentos são seguros. Mas para que se mantenham tecnicamente seguros, é necessário que as inspeções sejam realizadas com pontualidade. A NR-13 determina que a cada 15 meses seja efetuada uma inspeção em Caldeiras de Recuperação Química (SILVA, PIRATELLI, ACHCAR, 2020).

A fábrica de celulose aproveita esse período para realizar a parada geral – PG, de manutenção corretiva. Como o consumo de químicos é reduzido e em alguns casos interrompido, a planta química também realiza sua parada nessa oportunidade. Durante a PG, são realizados serviços que demandam uma grande perda de produção; portanto, não são realizados no período de operação da fábrica. Os vasos de pressão enquadrados na norma NR-13 também são inspecionados nesse período. É um evento que demanda muita preparação, com grande demanda de mão de obra e serviços externos.

4 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa documental e bibliográfica do tipo transversal com finalidade exploratório-descritiva, com um delineamento não experimental, pois visa estudar as relações entre variáveis de um dado fenômeno sem manipulá-las.

Conforme destacado por Lakatos e Marconi (2005), a pesquisa exploratória tem como objetivo aprofundar o conhecimento do pesquisador sobre o tema estudado, visando esclarecer conceitos.

Para atingir o objetivo proposto, a pesquisa seguiu uma trajetória metodológica, que incluiu a busca de informações científicas na Plataforma de Periódicos Capes, utilizando os descritores "PDCA", "NR-13" e "Indústria Química".

A partir do levantamento bibliográfico inicial, realizou-se uma análise sistemática das informações, visando a selecionar aquelas que estavam alinhadas com o escopo da pesquisa. Após a seleção, procedeu-se a leitura interpretativa, seguida de anotações e elaboração de fichas.

Segundo Andrade (1999, p.69), "as anotações em fichas compreendem resumos, análises, transcrições de trechos, interpretações, esquemas, ideias fundamentais expostas pelos autores [...]".

Com as fichas elaboradas, realizou-se a ordenação e análise das informações contidas na bibliografia científica selecionada, apresentando aspectos que podem fundamentar o referencial teórico apresentado na seção anterior.

Além da revisão bibliográfica, durante o estágio curricular obrigatório em uma Indústria Química, foi possível aplicar, acompanhar e coletar dados sobre a utilização da ferramenta. Essas informações foram validadas pelo supervisor e orientador e foram incorporadas ao relatório de estágio. Dada a importância dessas observações práticas, as informações coletadas são detalhadas na sequência.

A indústria estudada nesse trabalho, a *Nouryon*, é uma multinacional do ramo químico, que no Brasil possui em média 600 colaboradores. Na cidade de Três Lagoas – MS, são aproximadamente 100 colaboradores divididos em duas unidades.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Executando o ciclo PDCA na prática

O propósito fundamental da preservação de uma instalação industrial é atingir a menor incidência de falhas possível, assegurando que os equipamentos permaneçam em funcionamento com o mínimo custo. Uma estratégia de manutenção eficaz implica a integração de práticas corretivas, preventivas e preditivas. No entanto, o tipo de manutenção e a frequência delas dependem diretamente do padrão de falhas e do custo global associado aos danos eventualmente ocorridos (SILVA, PIRATELLI, ACHCAR, 2020).

A *Nouryon* utiliza o software *Prometheus* para o gerenciamento de seus ativos corporativos, atendendo e acompanhando todo o processo de manutenção desde o planejamento até a execução. O software é integrado a uma plataforma chamada SAP – onde todo o fluxo da manutenção é registrado e armazenado - garantindo aos usuários uma única e confiável fonte de dados. O módulo de planejamento e programação do *Prometheus* é de extrema importância no fluxo de trabalho da manutenção, facilitando o gerenciamento de ordens de serviço, estoque, materiais e paradas de equipamentos.

5.2 Planejamento de manutenção

São realizadas reuniões entre as equipes de manutenção e produção, para mapeamento das atividades, além de discutir as prioridades e alinhamentos de execução de acordo com as datas dos planos de manutenção, paradas programadas da fábrica, atividades de empresas externas, além de férias, licenças e viagens de trabalho dos técnicos.

Utilizando um relatório emitido pelo *Prometheus*, é possível entender qual o problema, qual o equipamento, sua criticidade, qual a mão de obra e o tempo necessário, entre outras informações para a emissão, planejamento e conciliação de ordens de manutenção corretivas, preventivas e preditivas; além de ações de melhoria de processo e segurança. Uma boa estratégia de alinhamento de atividades garante uma operação eficiente da fábrica, com baixos níveis de perda de produção.

O planejamento de programação da manutenção deve ser concluído na quinta-feira, anterior a semana de execução. Normalmente as quartas-feiras, é feita

uma reunião de fechamento do planejamento, em que são discutidos os últimos detalhes de execução, observações técnicas e de segurança.

Utilizando o *software Excel* para a montagem do cronograma de execução, além de utilizar diferentes recursos do SAP, a programação final é inserida no *Prometheus*, onde as ordens de serviço ficam disponíveis para os técnicos encerrarem as operações após a execução.

5.2.1 Planejamento de Parada Geral

O planejamento de uma parada geral é iniciado meses antes de seu início, uma vez que é necessário fazer um mapeamento das atividades necessárias, bem como o custo envolvido e, adequá-lo ao orçamento disponibilizado pela empresa. A equipe responsável por essas ações é bem diversa, composta por engenheiros, supervisores, técnicos e planejadores, dos setores de manutenção, produção, processos e segurança. Com os trabalhos definidos, inicia-se a fase de compra de materiais e contratação de serviços externos. Nessa primeira etapa, é aplicada a primeira fase do ciclo PDCA.

Nos meses seguintes são realizadas diversas reuniões a fim de alinhar a execução dos serviços e atualizar sobre a evolução do planejamento. Aqui já se pode observar a segunda e terceira fase do ciclo PDCA, onde é realizada a execução de compras e contratações. E, muitas vezes é atingida a quarta fase, quando é necessário realizar alguma correção.

5.3 Principais atividades da parada geral

Após o alinhamento inicial, foram definidas as atividades da parada geral. Entre elas, podem ser citadas como principais o tratamento de bases de bombas, abertura para inspeção e limpeza do *chiller*, balanceamento dos ventiladores da torre de resfriamento, troca do transformador do CCM (centro do controle de motores), tratamento e pintura interna do tanque precipitador de salmoura e laminação interna da coluna de absorção de dióxido de cloro.

O processo de produção de clorato envolve o uso da salmoura, que assim como o produto final, é um forte agente oxidante. Assim, os materiais metálicos sofrem com um forte processo de oxidação, em especial as bombas, que muitas vezes estão

expostas a vazamentos. Uma vez iniciado o processo de oxidação na base de uma bomba, ocorre um desalinhamento no eixo de rotação entre bomba e motor, o que compromete sua eficiência; além de comprometer sua integridade, bem como de seus componentes.

Para corrigir esses efeitos, durante a PG é realizada a desmontagem das bombas, seguido do tratamento e pintura das bases, montagem e alinhamento do conjunto. As Figuras 9, 10 e 11 mostram o processo de recuperação das bases.

Figura 9 - Base de bomba deteriorada



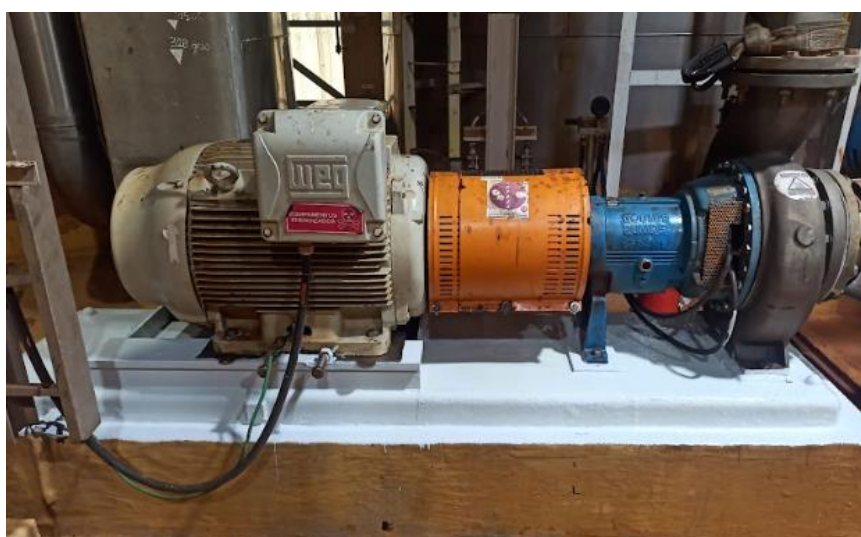
Fonte: Acervo do autor.

Figura 10 - Base de bomba durante o tratamento



Fonte: Acervo do autor.

Figura 11 - Conjunto montado após tratamento e pintura

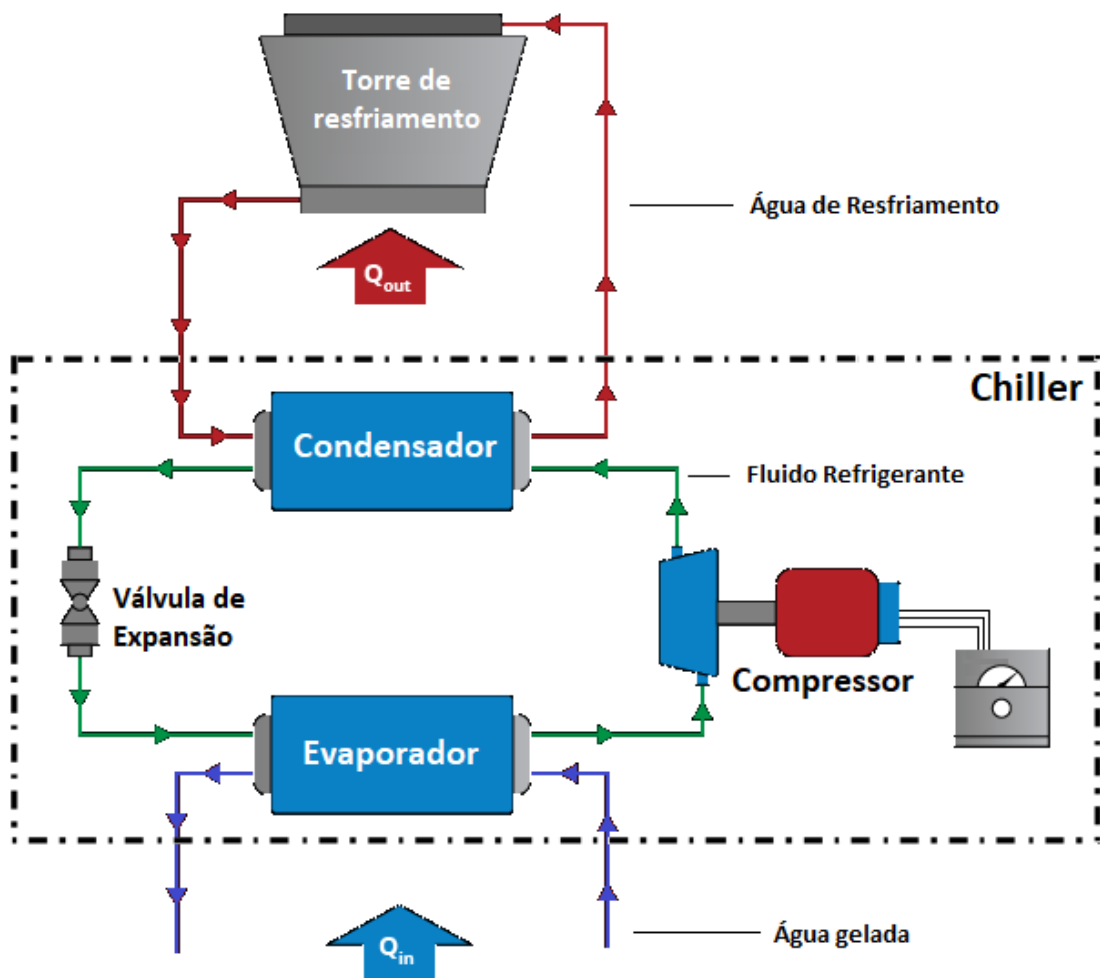


Fonte: Acervo do autor.

5.3.1 Inspeção e Limpeza dos *Chillers*

Um *Chiller* de água gelada (*water-cooled chiller*) é um equipamento que faz parte de um sistema de resfriamento de água industrial. É formado basicamente por dois trocadores de calor do tipo casco-tubo (evaporador e condensador), um compressor e uma válvula de expansão. Na unidade de Jupiá da *Nouryon* são usados três *chillers* ligados a três torres de resfriamento. Na figura 12, é ilustrado um esquema de seu funcionamento, seguido de uma breve descrição dos seus componentes.

Figura 12 - Funcionamento do sistema de refrigeração



Fonte: Scarpin, 2020.

Compressor: retira o gás do evaporador, comprimindo e levando ao condensador. Nesse processo sua pressão e temperatura aumentam.

Condensador:

- casco: gás refrigerante R-134a;
- tubo: água de resfriamento;
- ligado a torre de resfriamento (sistema aberto);
- maior corrosão/desgaste (devido ao cavaco e demais contaminantes do sistema aberto da torre).

Após passar pelo compressor, o fluido chega ao condensador com alta pressão e temperatura. A água de resfriamento (tubos) após passar pela torre de resfriamento faz uma troca térmica com o gás (casco), diminuindo sua temperatura, porém mantendo sua pressão alta. Parte do fluido pode condensar durante esse processo.

Válvula de expansão: faz com que o gás condensado diminua sua pressão e esfrie, podendo agir como refrigerante no condensador.

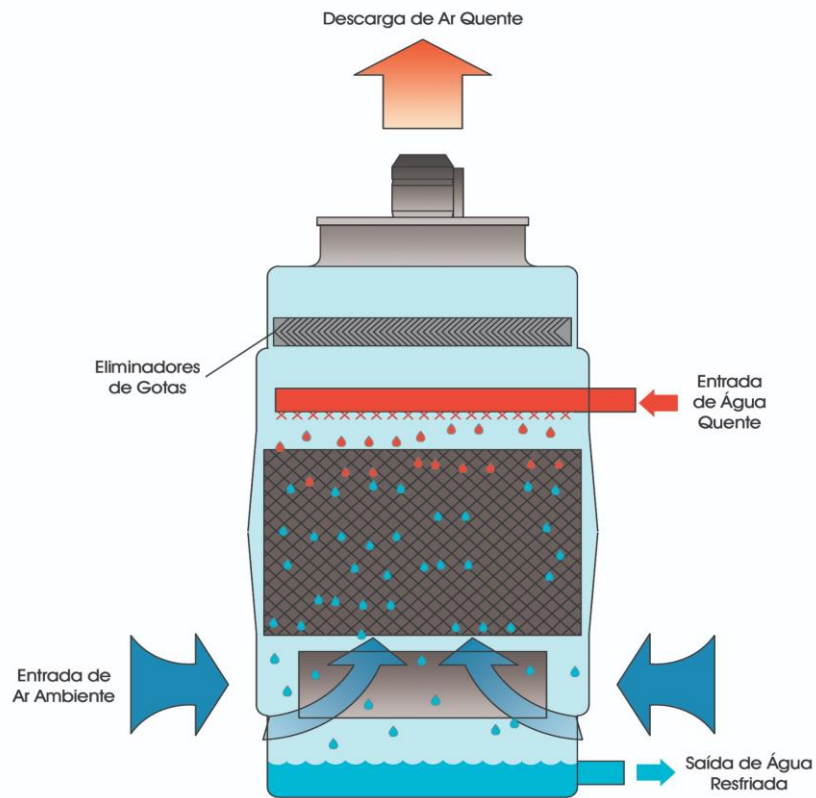
Evaporador:

- casco: gás refrigerante R-134a;
- tubo: água gelada;
- ligado a fábrica (sistema fechado);
- menor corrosão/desgaste;

Após passar pela válvula de expansão, o fluido chega ao evaporador com baixa pressão e temperatura, podendo agir como refrigerante novamente. No evaporador é feita a troca térmica entre o fluido (casco) e a água (tubo) usada no processo industrial, gerando a água gelada. O fluido volta a ter uma temperatura amena e é levado até o compressor, onde o ciclo se reinicia.

Torre de resfriamento: os ventiladores (exaustores) fazem o resfriamento da água por gotejamento. Na Figura 13 é mostrado o funcionamento de uma torre de resfriamento e na Figura 14 é apresentada a torre de resfriamento da *Nouryon*, Unidade de Jupiá.

Figura 13 - Funcionamento de uma torre de resfriamento



Fonte: EVAPCO, 2023

Figura 14 - Torre de resfriamento da Nouryon, Unidade de Jupirá



Fonte: Acervo do autor.

Segundo a NR-13, o condensador e evaporador são classificados, respectivamente, como categorias 4 e 5 (CAT-IV e CAT-V) e suas últimas inspeções internas e externas foram feitas em 2022. Portanto, não foi necessário realizar a inspeção de segurança periódica dos vasos. Porém, durante a PG é possível fazer a abertura do sistema para inspeção e limpeza dos tubos. Os tubos do condensador transferem a água de resfriamento, que por fazer parte de um sistema aberto, carrega cavaco da fábrica de celulose e demais impurezas. Assim, os tubos sofrem com incrustações que levam a perda de eficiência do sistema. Além da deterioração dos tubos, as tampas e espelhos do vaso também são agredidas.

O trabalho de manutenção dos *chillers* é utilizado como um exemplo da aplicação do ciclo PDCA, mostrado na Figura 15, com o desmembramento das suas fases.

Figura 15 – Conjunto de *Water-Cooled Chillers* - Unidade de Jupiá da *Nouryon Pulp and Performance Chemicals*



Fonte: Acervo do autor.

5.4 Ciclo PDCA na manutenção dos *Chillers*

5.4.1 Planejamento

a) Levantamento e Classificação dos Vasos.

- CAT- IV e CAT- V (NR-13).

b) Análise de Documentação.

- Documentação técnica dos vasos e certificados.
 - Prontuários do *Chiller* com o histórico de manutenções em conformidade com a NR-13.
- c) Inspeção Visual, conforme as Figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 - Tampa traseira do evaporador antes do tratamento



Fonte: Acervo do autor.

Figura 17 - Tampa dianteira do condensador antes do tratamento



Fonte: Acervo do autor.

Figura 18 - Detalhes do desgaste devido à presença de cavaco e contaminantes na água de resfriamento



Fonte: Acervo do autor.

d) Elaboração de Cronograma de Manutenção.

- Verificação Visual;
- Monitoramento de Temperatura e Pressão;
- Limpeza dos Filtros;
- Teste de Controles;
- Verificação de Vazamentos;
- Inspeção Elétrica;
- Limpeza Geral;
- Calibração de Sensores;
- Teste de Água de Resfriamento;
- Inspeção do Compressor;
- Manutenção do Compressor;
- Verificação do Isolamento Térmico;
- Análise do Óleo do Compressor;
- Teste de Eficiência.

e) Planejamento de Recursos:

- Emissão de ordens de serviço;
- Requisições de compras e contratação de serviços;

- Contratação, recepção e acompanhamento da empresa terceirizada responsável pela execução do serviço de manutenção preventiva.

5.4.2 Execução

a) Manutenção (Execução do Cronograma):

Verificação Visual:

- Inspeção visual para vazamentos de água, óleo ou refrigerante;
- Verificação de danos ou obstruções nos condensadores e evaporadores.

Monitoramento de Temperatura e Pressão:

- Verificação das leituras de temperatura e pressão para garantir que estejam dentro das faixas operacionais normais.

Limpeza dos Filtros:

- Verificação e limpeza ou substituição de filtros de água e óleo.

Teste de Controles:

- Verificação do funcionamento adequado dos controles automáticos, termostatos e sensores.

Verificação de Vazamentos:

- Verificação de vazamentos em conexões, válvulas e outros componentes.

Inspeção Elétrica:

- Verificação dos componentes elétricos, apertando conexões soltas.

Limpeza Geral:

- Limpeza dos tubos, trocadores de calor, condensadores e evaporadores.

Calibração de Sensores:

- Calibração de sensores de temperatura, pressão e outros instrumentos de medição.

Teste de Água de Resfriamento:

- Análise da qualidade da água de resfriamento e tratamento químico, se necessário.

Inspeção do Compressor:

- Inspeção visual e análise de desempenho do compressor.

Manutenção do Compressor:

- Revisão completa do compressor, incluindo a troca de óleo e a substituição de peças desgastadas.

Verificação do Isolamento Térmico:

- Inspeção e substituição do isolamento térmico nos tubos.

Análise do Óleo do Compressor:

- Amostragem e análise do óleo do compressor.

Teste de Eficiência:

- Teste de eficiência para garantir que o *Chiller* está operando dentro das especificações de *design*.

b) Procedimentos de Trabalho:

- Acompanhamento dos procedimentos de trabalho específicos para cada etapa da manutenção;
- Assegurar medidas de segurança, conforme exigido pela NR-13 para todos os envolvidos.

c) Comunicação e Treinamento:

- Comunicado com uma semana de antecedência a parada aos colaboradores;
- Verificado se o treinamento de segurança e operação da equipe terceirizada envolvida está com validade.

d) Gestão de Resíduos:

- Coleta e Separação dos resíduos gerados durante a manutenção, como filtros usados, fluidos refrigerantes antigos, óleo lubrificante usado;
- Encaminhamento de materiais recicláveis para reciclagem;
- Resíduos perigosos, como fluidos refrigerantes antigos e óleos lubrificantes usados encaminhados para áreas têm instalações específicas para o descarte adequado de resíduos perigosos.

5.4.3 Verificação

Na Etapa de verificação são realizados:

- a) Testes e Inspeções Finais: para garantir que os vasos estejam em conformidade com os padrões estabelecidos, como mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Condensador (esquerda) e evaporador (direita) após tratamento



Fonte: Acervo do autor.

5.4.4 Atuação corretiva

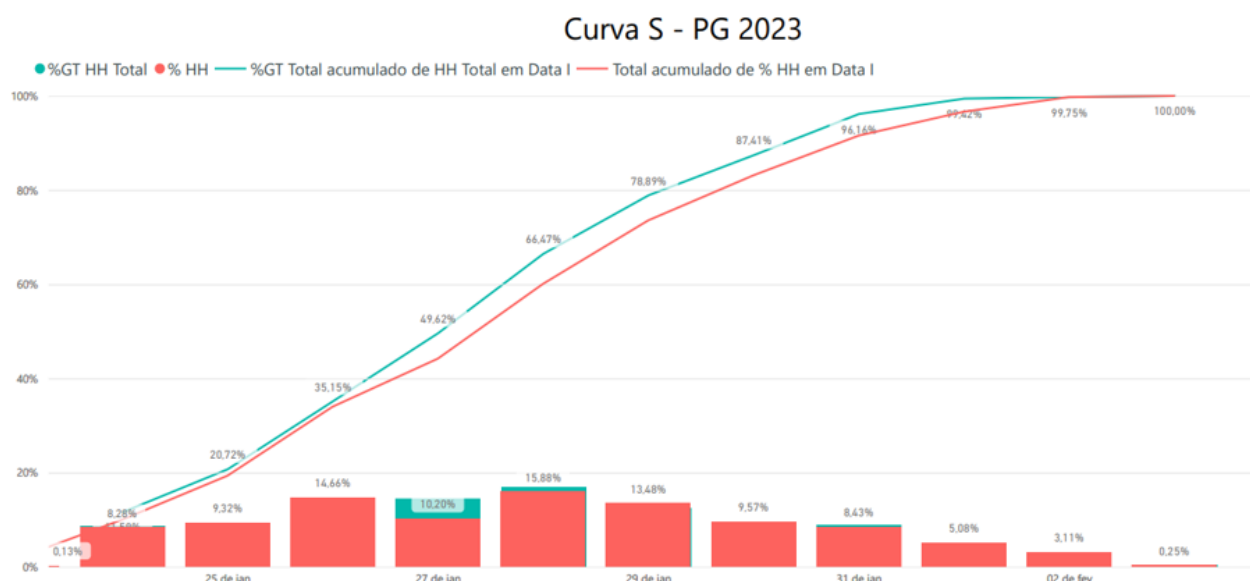
- a) Atualização de Documentação;
- b) Certificação de Conformidade;
- c) Relatório de Parada: relatório detalhado, incluindo as atividades realizadas, resultados de testes e inspeções, e recomendações para futuras ações.

5.5 Análise dos resultados obtidos

As ferramentas utilizadas para o planejamento da Parada Geral, tais como: Ciclo PDCA, *Excel* para a montagem do cronograma de execução, recursos do SAP, e a gestão por meio do *software Prometheus*, possibilitaram a mensuração da execução de todos os eventos programados.

Como métrica de execução, utiliza-se a representação gráfica da curva S. Tal ferramenta é muito útil para analisar e monitorar o desempenho das horas trabalhadas durante a Parada Geral, permitindo uma representação da execução em relação ao planejamento inicial.

Figura 20 – Curva S – Parada Geral



Fonte: Acervo do autor.

No planejamento foram incluídas as estimativas de horas para cada tarefa ou atividade previstas durante a Parada Geral. As horas trabalhadas de cada atividade ou tarefa foram registradas. Tais parâmetros serviram como a linha de base para comparação.

Representa graficamente o acumulado de horas trabalhadas em relação ao tempo. O eixo horizontal representa o tempo, enquanto o eixo vertical representa as horas trabalhadas acumuladas. Inicialmente, a curva começa com uma inclinação suave, indicando um progresso mais lento no início da execução do planejamento. As colunas representam as horas de trabalho diárias, enquanto a linha (curva) representa o total acumulado durante a parada.

Comparando a curva real das horas executadas (vermelha) com a linha de planejamento (verde) é possível observar que houve poucos desvios entre o planejado e o real. Houve uma tendência de atraso na execução dos serviços durante a parada, principalmente aquelas atividades relacionadas a empresas terceiras. Todavia, com base nos resultados obtidos através da curva S, que retrata o desempenho das horas efetivamente trabalhadas durante a Parada Geral, pode ser concluído que se atingiu próximo de 100% do planejamento inicial.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem PDCA não apenas ajuda a garantir a conformidade com as Normas Regulamentadoras, mas também promove a eficiência operacional e a qualidade dos serviços.

A flexibilidade do PDCA permite que a empresa/indústria se adapte a mudanças nas condições impostas pela Parada Geral.

Diante do exposto, torna-se evidente que a aplicação do ciclo PDCA como ferramenta de planejamento das atividades executadas, é uma ferramenta crucial e de grande valia neste processo específico, possibilitando a gestão das ações de controle envolvidas, visando alcançar a máxima eficiência e qualidade dos serviços. Fato que está em linha com os resultados observados através da curva S, que retrata o desempenho das horas efetivamente trabalhadas durante a Parada Geral.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

São sugestões para trabalhos futuros:

- A elaboração de uma Curva S comparando o custo planejado e o custo real;
- Uma estratificação entre os trabalhos das oficinas de mecânica, elétrica e instrumentação;
- Uma estratificação entre os trabalhos realizados por mão de obra interna e externa;
- Uma comparação entre a eficiência de execução em duas Paradas Gerais.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT. **NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade. Fundamentos e vocabulário: Rio de Janeiro, 2015.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978- NR 13. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

CAMPOS, V. F. **TQC** Controle da Qualidade total no estilo japonês. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 8.ed., 2004.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade - Conceitos e Técnicas**. 2.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

ELDORADO BRASIL (Três Lagoas - MS). A Eldorado Brasil: Quem Somos. Acesso em: 10 junho. 2023. Disponível em: <https://www.eldoradobrasil.com.br/pb/a-eldorado-brasil/quem-somos/>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. A indústria de papel e celulose no Brasil e no Mundo – panorama geral. 2021. Acesso em 10 de junho de 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Portugu%C3%AAs_202201_25_IBA.pdf

EVAPCO, Inc. **Catálogo digital**. Acesso em: 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.evapco.com.br/pt-br/products/torres-de-refrigeracion-montado-en-fabrica/torre-de-resfriamento-sct>

FUNDACENTRO. Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de Pressão. São Paulo, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

NICÁCIO, J. A. P. As competências desenvolvidas pelo engenheiro de inspeção de equipamentos da indústria de refino de petróleo. Dissertação (mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica, 2018.

NOURYON PULP AND PERFORMANCE CHEMICALS (Netherlands). Products: Integrated Manufacturing Model. Disponível em: Acesso em: 10 junho de 2023. <https://www.nouryon.com/products/chemical-island/>.

NOURYON PULP AND PERFORMANCE CHEMICALS (Netherlands). Products: Eka® ClO₂ - Chlorine dioxide. Acesso em: 10 junho de 2023. Disponível em: <https://www.nouryon.com/products/chlorine-dioxide/>.

NOURYON PULP AND PERFORMANCE CHEMICALS (Netherlands). Products: Eka® SC - sodium chlorate. Acesso em: 10 junho de 2023. Disponível em: <https://www.nouryon.com/products/sodium-chlorate/>.

NOURYON PULP AND PERFORMANCE ORIBE, C. Y. **PDCA**: origem, conceitos e variantes dessa idéia de 70 anos. Acesso em 20 de novembro de 2023. Disponível em: <http://www.qualypro.com.br/artigos/pdca-origem-conceitos-e-variantes-dessa-ideia-de-70-anos>

SCARPIN, B. **Chiller** - Eficiência Energética em Edificações. Acesso em: 13 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/eficiencia-energetica-edificacoes-chillers/>

SILVA, E. T. da; PIRATELLI, C. L.; ACHCAR, J. A. Estudo da manutenção de equipamentos de uma usina de etanol sob a metodologia MCC (manutenção centrada na confiabilidade). **Revista Produção Online**: Florianópolis, v.20, n.4, p.1331-1353, 2020.

SILVA JUNIOR, S. P.; CALLEFI, J. S. Implementação e continuidade do Ciclo PDCA: Um estudo de caso no setor metal mecânico. **GEPROS**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas: v. 15, n. 3, p. 155-182, 2020.