

## APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE CRITICIDADE EM EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

BAPTISTA, Matheus Dias<sup>1</sup>

MARON, Bruno A<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma análise detalhada da criticidade das máquinas e equipamentos de uma indústria cimenteira. Dita análise tem como objetivo fornecer dados e ferramentas capazes de apoiarem as decisões da gestão, planejamento e controle da manutenção dos ativos industriais da fábrica. Nesse contexto, para definir a criticidade de cada equipamento, utilizou-se, no presente estudo, uma matriz de criticidade que tomou como base uma das referências citadas, mas teve que ser adaptada para as necessidades do processo produtivo. Fatores de avaliação e critérios de classificação como segurança, qualidade, produção, gravidade da quebra e custo de manutenção foram utilizados para obter-se um número de criticidade total dos equipamentos. Com esses dados em mãos, planos de manutenção e decisões de gestão de manutenção podem ser tomadas visando o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos com uma redução do custo e do risco da operação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Classificação; Matriz; Criticidade; Planejamento; Gestão; Manutenção.

**ABSTRACT:** This work presents a detailed analysis of the criticality of machinery and equipment in a cement industry. This analysis aims to provide data and tools capable of supporting decisions in the management, planning and control of the maintenance of the factory's industrial assets. In this context, to define the criticality of each equipment, a criticality matrix was used in the present study, based on one of the mentioned references, but it had to be adapted to the needs of the production process. Evaluation factors and classification criteria such as safety, quality, production, breakdown severity and maintenance cost were used to obtain a total criticality number for the equipment. With this data in hand, maintenance plans and maintenance management decisions can be made aiming at increasing the reliability and availability of equipment with a reduction in the cost and risk of the operation.

**KEYWORDS:** Classification; Matrix; Criticality; Planning; Management; Maintenance.

### 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos o homem vem descobrindo, se conectando, aprendendo e se relacionando com a natureza. No início, o domínio que aquele tinha sobre esta era mínimo, quase que primitivo e ditado mais pelo senso de sobrevivência do que pela vontade de construir ou evoluir. Com o passar do tempo, a evolução das técnicas de exploração primitivas tornou possível, por exemplo, o surgimento do fogo. Esta, sem sombra de dúvidas, foi uma das maiores descobertas da humanidade.

Além dessa, muitas outras invenções e soluções foram avançando no mesmo ritmo e frequência com a qual a humanidade ia se desenvolvendo.

---

<sup>1</sup> Graduando(a) de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real; eng-matheusbaptista@camporeal.edu.br

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia de Produção e Engenharia de Segurança do Trabalho CREA-PR 104790/D. Pós Graduado em Novas Perspectivas da Docência no Ensino Superior. Graduado em Administração, gestão estratégica de negócios. Pós graduado em MBA – Gestão estratégica de negócios. prof\_brunomaron@camporeal.edu.br

A sociedade primitiva passou de caça a caçador, de dependente da natureza a cultivador de diversas espécies. Tudo isso graças ao poder da transformação que ferramentas e o uso adequado de técnicas propicia. Desde uma simples receita de bolo até o procedimento para decolar uma nave espacial: em tudo se necessita de um processo, de uma transformação, de uma método e de uma sequência lógica de ações.

Nesse contexto, com a evolução da humanidade, tanto na ocupação de mais espaços quanto com o passar do tempo, as ferramentas foram adquirindo maior complexidade, produtividade, automaticidade e eficiência. E hoje, essas “super-ferramentas” podem ser chamadas de máquinas e equipamentos. Ativos estes que são amplamente usados em empreendimentos e indústrias de todo porte e capacidade para poder transformar o bruto, a matéria prima, um pedaço da natureza, no outro, no acabado, no refinado e sofisticado que é um produto.

Nesse cenários, sabe-se que toda fábrica ou indústria ou até mesmo um empreendimento que deseje produzir algo, precisa de maior que permitam dita ação. Isso se aplica tanto a meios simples como facas, canivetes e pregadores, assim como a instalações de grande complexidade como turbinas, distribuidores de fluidos, aquecedores, trocadores de calor, entre outros.

Contudo, de acordo com o que nos trazer o brilhante autor e uma das maiores referência no quesito manutenção: Nepomuceno (2018); em todos esses casos de utilidades e processos aparecem problemas como desgastes, enguiços, quebras, fraturas, acidentes e incidentes dos mais diversos tipos, intrínsecos ao processo produtivo, a suas variáveis de erro humano e erro de máquina, à falta de comunicação e de procedimentos adequados de planejamento e controle.

Nepomuceno (2018) prossegue citando que assim como uma simples tesoura necessita ser reparada, cuidada e monitorada de tempos em tempos, visto que perde sua eficiência devido a repetidos ciclos de operação, o mesmo acontece com máquinas e equipamentos complexos que tem uma necessidade quase que mandatória de reparos e consertos. É justamente por isso que, independente do processo, toda atividade produtiva precisa contar com um Departamento, Seção ou Setor chamado Manutenção. E é nele que são tomadas todas as decisões e ações possíveis para manter um ativo com a maior eficiência operacional possível, considerando-se o desgaste natural e o tempo de vida útil do mesmo

Tendo em vista essa questão, pode-se perceber, mesmo que de forma incipiente, a importância que a manutenção tem não só para a garantia dos processos industriais, como também para que os mesmos possam ter uma confiabilidade suficiente a ponto de evoluírem, melhorarem e abrirem novas perspectivas de negócios.

Entretanto, no estado da arte atual, existe ainda uma certa resistência quanto à aplicação e incorporação da manutenção na filosofia das empresas. Isso pode ser entendido através da interpretação que muitas empresas tem da manutenção a ser aplicada em seus ativos. Para elas, a manutenção, em termos práticos, é vista e tolerada como sendo um mal necessário, já que, seja pela falta de conhecimento técnico ou por uma visão puramente pragmática e instantânea do processo produtivo, esses tomadores de decisão acham que de um modo ou outro as máquinas vão se quebrar e, desse modo, alguém terá que consertá-las naquele momento da quebra. Até lá, para eles, não há necessidade de um acompanhamento e manutenção dispendioso (NEPOMUCENO, 2018).

Nesse cenário, os colaboradores do setor de manutenção são considerados funcionários que servem apenas para consertar aquilo que quebra. Isso fica óbvio quando observa-se que a estrutura hierárquica da maioria das empresas vê o Gerente de Manutenção como uma figura subalterna, numa posição abaixo de outros Gerentes de outras áreas como a de Produção, Financeira, entre outras. Entretanto, vários estudos comprovam que a manutenção diminui consideravelmente o custo da operação de uma fábrica, ao conservar a capacidade produtiva e promover a disponibilidade do maquinário (NEPOMUCENO, 2018).

Por outro lado, de acordo com Baran et al (2013), a manutenção é uma das questões cruciais para o desempenho e confiabilidade dos sistemas industriais, já que garante que o ativo opere em sua máxima eficiência durante todo o seu ciclo de vida útil. O autor também traz um contraponto ao citar que em muitas ocasiões é quase impossível executar todas as ações de manutenção em um equipamento ou em um complexo de equipamentos devido a limitações que as empresas possuem no que tange a recursos financeiros, materiais, humanos, tempo, complexidade, entendimento, conhecimento e habilidade para executar ditos processos. Esse é um dos grandes fatores limitantes para a correta aplicação da manutenção nos complexos industriais, visto que a organização muitas vezes deve escolher em que departamento deve ser aportada uma maior quantidade de recursos em forma de investimento e a

manutenção, por uma questão cultural, ainda não é vista como um bom investimento, já que encontram-se dificuldades ao mensurar o seu retorno (BRUSSIUS, 2016).

Apesar disso, é possível ainda realizar uma manutenção adequada nesses sistemas priorizando o que é mais importante e causa maior impacto nos processos da empresa. Nesse aspecto, Baran et al (2013) afirmam que a análise de criticidade é indicada nessas ocasiões, pois consegue priorizar sistemas e equipamentos críticos, considerando interações e iterações entre processos, procedimentos e transformações industriais. Também levando em conta modelos de confiabilidade, assim como variações dos parâmetros e características operacionais de uma determinada linha de produção.

A análise de criticidade é, basicamente, identificar a causa e o efeito que uma determinada falha ou redução de capacidade pode causar no processo e com isso gerir qual dano terá o menor impacto. Com isso, consegue-se aumentar os índices de disponibilidade dos equipamentos, aumentando a produtividade e os resultados econômicos da empresa (TOMALDIS & PISTIKOPOULOS, 2004 APUD BARAN, 2013).

Continuando, cabe destacar que cada ativo de produção e operação tem seu grau de importância tanto operacional quanto no que tange a sua criticidade para o processo. Alguns equipamentos, por exemplo, pode perder condição operacional, reduzir sua eficiência, sofrer quebras e até mesmo uma falha disruptiva e mesmo assim não causar um dano significativo da operação da planta (MORAES, 2020). De acordo com Machado (2022) esses equipamentos possuem redundância de processo, ou são classificados como de uso ocasional ou até mesmo que se encontram locados em partes do processo que não são críticas o suficiente para comprometerem a continuidade da produção.

Porém, existem máquinas e equipamento que de forma mandatória devem estar em plenas condições de funcionamento. Este é o caso dos Equipamentos Críticos. A falta de disponibilidade desses equipamentos para a operação ou até mesmo um defeito pequeno que limite sua condição de produzir pode gerar graves danos na linha de produção, comprometendo qualidade, custos e segurança de processos e pessoas (MACHADO, 2022).

Para solucionar ditos problemas pode-se adotar uma política de manutenção focada em priorizar e gerir ativos de forma individualizada e assim determinar sua importância no processo produtivo, mapear as causas de suas falhas e prever quais serão as consequências das mesmas. Esse é um grande reto para o gestor da

manutenção, visto que necessita-se de grande experiência no processo e capacidade técnica para identificar e mapear corretamente as causas de falhas operacionais, assim como de uma expertise profissional em diversas áreas e conhecimentos técnicos do equipamento e do ambiente como um todo para poder prever os efeitos das falhas. Ademais, deve-se alinhar toda essa gestão com prisms antagônicos de todo e qualquer processo: reduzir e controlar os custos de manutenção e elevar a disponibilidade dos equipamentos (MACHADO, 2022).

Esses equipamentos não devem, em hipótese nenhuma, estarem sujeitos à perdas de capacidade operacional que os coloquem em posição de sofrerem uma manutenção corretiva. Tais máquinas, por exemplo, não se enquadram no comportamento de outras que podem ter seu desempenho corrigido de forma programada ou até mesmo emergência. Teles (2017) apud Michelin (2019) ilustra essa curva de desempenho na Figura 1 a seguir. Na qual, mesmo após passar por uma manutenção, por ela ser corretiva programada e com o passar do tempo, perde-se eficiência de operação. Se essa situação se manter, chega-se ao ponto de uma falha funcional que necessita de uma corretiva emergencial:

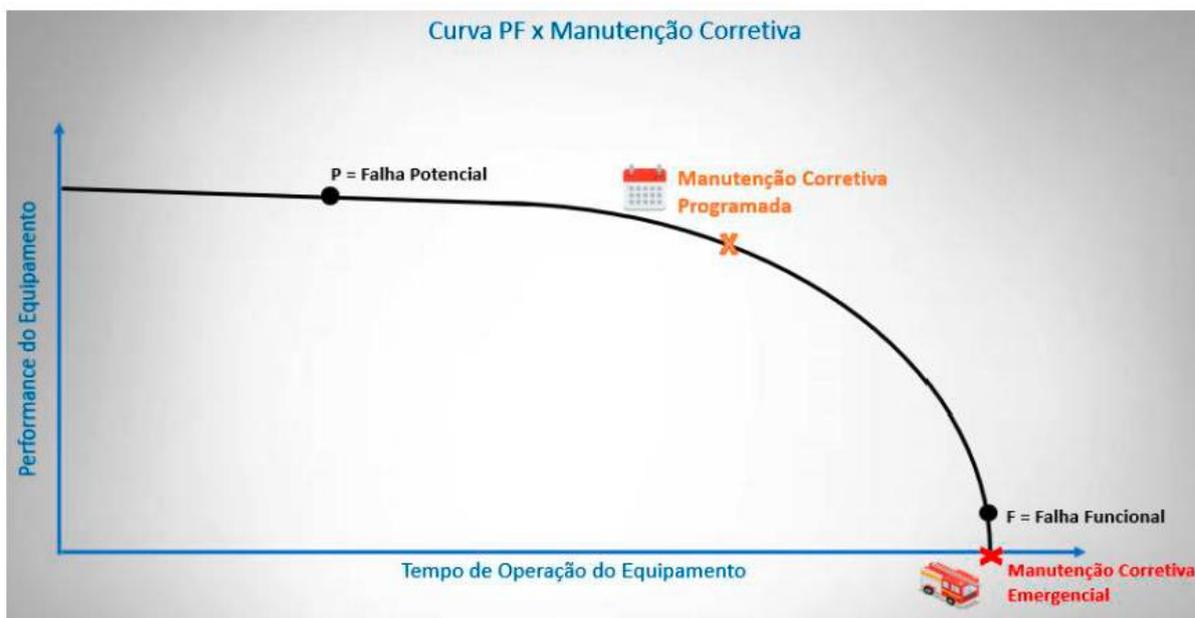


Figura 1: Diagrama performance do equipamento x Tempo de operação do mesmo: manutenções corretivas e falhas.

Fonte: Teles (2017) apud Michelin (2019).

Tendo em vista o exposto, pode-se considerar, agora de forma um pouco mais certa, que a definição de criticidade de equipamentos se mostra uma importante ferramenta de elaboração de planos sistemáticos de manutenção de ativos para as indústrias, já que tem como função justamente isso: nortear todo o planejamento de manutenção de acordo com a criticidade e impacto de cada ativo da planta.

O presente trabalho buscará, de forma abrangente e incipiente, utilizar a metodologia de classificação crítica de equipamentos de uma indústria cimenteira para buscar a otimização de seus processos.

O presente estudo está dividido da seguinte forma:

- Fundamentação teórica: aqui mostrar-se-á a teoria por trás do desenvolvimento, aplicação e coleta de resultados da manutenção utilizando uma matriz de criticidade de equipamentos;
- Metodologia: descrever-se-á os métodos e parâmetros utilizados na pesquisa científica de que trata o presente documento;
- Análise de resultados e discussões: os resultados da pesquisa serão devidamente expostos e discutidos de modo a se chegar numa conclusão;
- Considerações finais: aqui se farão as considerações e conclusões necessárias para o entendimento e verificação se realmente o objetivo do estudo foi atingido;
- Referências bibliográficas: seção do artigo na qual se expõem as referências utilizadas para embasar teoricamente e também para a aplicação do estudo.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Definir criticidade de um processo é sempre uma questão mais objetiva do que subjetiva. Entretanto, dependendo da visão geral que a alta direção tem da linha produtiva, dos recursos disponíveis e da necessidade por mudanças, a criticidade pode estar sujeita à desvios e vieses que podem ser positivos ou negativos para a empresa.

Nesse cenário, Moss e Woodhouse (1999) apud Baran et al (2013) dizem que a “criticidade” de um processo está sujeita a diferentes opiniões e entendimentos. Tudo isso dependendo, claro, do contexto no qual está sendo aplicada a análise. Dessa forma, definem assim criticidade como o atributo que expressa a importância da função de um equipamento ou sistema dentro de uma produção, levando em conta a segurança, qualidade, meio ambiente e outros critérios a serem definidos e customizados de acordo com a aplicação.

Portanto, de acordo com Smith & Hawkins (2004) apud Baran et al (2013) pode definir criticidade como uma técnica que identifica e classifica efeitos e eventos potenciais baseados no seu impacto e importância para o processo, sendo aplicada em estudos de risco, confiabilidade de projetos e plantas em operação, sendo uma exigência em sistemas ambientais e de segurança, podendo ser conduzida de forma quantidade ou qualitativa.

Ou seja, é olhar mais para os efeitos do que para as causas e, apesar disso, conseguir mapear e controlar as causas que gerem falhas inadmissíveis em máquinas e equipamentos no seu grau de criticidade pré-definido. Cabe ressaltar que os teóricos dessa questão não limitam esta análise a meros números e medições, mas sim tratam o tema por uma abordagem mais holística, levando em conta também aspectos qualitativos, mais subjetivos, culturais e de comunicação: tão ou mais importantes que os indicadores numéricos de desempenho operacional e de manutenção (FABRO, 2003).

Continuando, é importante destacar que nem toda máquina e equipamento tem a mesma criticidade dentro de uma unidade fabril. Alguns podem ter seu desempenho variável ou até mesmo reduzido sem que, necessariamente, comprometa o processo produtivo como um todo, não impactando significativamente na produção, na segurança ou no meio ambiente. Como viu-se anteriormente, estes são os chamados equipamentos redundantes. Entretanto, existem equipamentos que devem manter sua condição operação “full”. Se eles não estiverem disponíveis, isso pode causar impactos em outras áreas da organização além da produção: vendas, financeiro, segurança no trabalho, administrativo, entre outros. Logo, a manutenção deve estar focada em manter ditos ativos operantes quase que em sua totalidade de vida útil. E é exatamente nessa situação que aplicam-se método para priorizar e classificar equipamentos em termos de sua criticidade e importância para o processo e para

negócio como um todo. Essa matriz facilita a geração de planos de manutenção eficazes e efetivos (COUTINHO, 2022).

Considerando essas premissas e parâmetros iniciais, segundo Machado (2022), o *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)* elaborou e recomenda fortemente o uso de seus parâmetros de classificação e priorização: a chamada curva ABC. Ela é baseada no princípio de Pareto que afirma que 80% dos efeitos são devidos a 20% das causas. Logo, atacando-se e monitorando-se esses 20% de ativos consegue-se evitar 80% dos problemas futuros.

De acordo com Suarez (2018) apud Machado (2022) pode-se definir um algoritmo de decisão de criticidade baseado nos parâmetros Segurança (S), Qualidade (Q), Regime de Trabalho (RT), Atendimento (A), Frequência (F) e Custo (C). Cada um desses parâmetros terá um grau de importância: 1, 2 ou 3. Com isso, classificam-se os equipamentos em Equipamento Classe “A” que é aquele que deve ter uma confiabilidade máxima na sua operação, Equipamento Classe “B” que é o que deve ter disponibilidade máxima na sua operação e o Equipamento Classe “C” que é o que deve ter custo mínimo na sua manutenção e operação.

O algoritmo descrito acima está ilustrado na figura 2 a seguir:

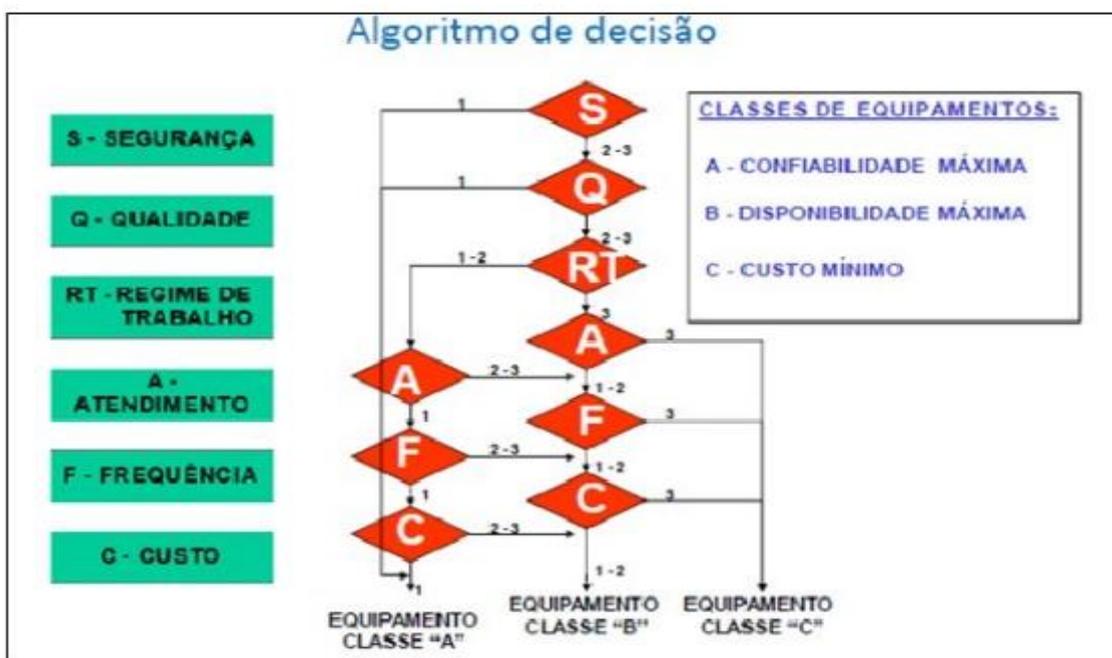


Figura 2: Fluxograma - Algoritmo de decisão de criticidade de equipamento

Fonte: SUAREZ, 2018 APUD MACHADO, 2022.

Segundo Machado (2022) a classificação dos equipamentos de acordo com seu grau de criticidade deve ser entendida da seguinte forma:

- **EQUIPAMENTOS CLASSE A (ou GRAU 1)** - Equipamentos que interrompam o processo de produção, ou que reduzam a capacidade produtiva e impactando a qualidade e/ou custos dos produtos e subprodutos. Normalmente, para estes equipamentos não existe um backup e, eles têm potencial em elevar os custos de produção (não atendimento, comprometimento da qualidade de produtos, atrasos) e os custos de manutenção em mais de 15%, bem como causar impactos em indicadores estratégicos da manutenção, como o de disponibilidade física do ativo, por exemplo. Tais equipamentos devem fazer parte do plano de manutenção preditiva, serem inspecionados com a frequência necessária para garantir um adequado acompanhamento, e ter seus intervalos de manutenção preventiva respeitados por todos. Em caso de crônicos, deve-se usar técnicas de Engenharia de manutenção para análise de falhas e revisão de projetos. Recomenda-se o acompanhamento estatístico para mensuração constante de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade destes ativos.
- **EQUIPAMENTOS CLASSE B (ou GRAU 2)** - Equipamentos que, apesar de importantes para o processo, suas falhas não causam paradas críticas, ou seja, o impacto que a falha causará ainda é algo recuperável. Normalmente são ativos que possuem backup. Importante observar que em relação a segurança e meio ambiente exista o potencial de causar danos de menor gravidade ou alteração em parâmetros ecológicos de baixo impacto e pequena duração. Mas atenção, é recomendável que toda falha crítica em relação à saúde e segurança com potencial de danos pessoais requalifique o ativo na matriz para criticidade “A”. Falhas em ativos classe “B” podem exigir o reprocessamento dos produtos pela operação. A melhor estratégia para gestão de ativos nesta classe é a de realizar a manutenção baseada em intervalos pré estabelecidos de tempo (manutenção preventiva), e manter a inspeção de rota planejada e executada adequadamente. Caso o custo da falha represente fator crítico, recomenda-se a utilização de técnicas de acompanhamento preditivo e intervenções de maior potencial de perda baseadas na condição do equipamento.

- **EQUIPAMENTOS CLASSE C (ou GRAU 3)** - Equipamentos necessários ao processo produtivo, mas que não afetam a produção, têm potencial insignificante, ou inexistente à saúde, segurança e meio ambiente. Suas falhas não causam transtornos em relação à qualidade do produto nem aos custos regulares da manutenção. Tais equipamentos podem ou não possuírem backups, o critério definitivo em relação à qualificação de ativos na categoria “C” de criticidade é a de que em qualquer condição ou hipótese a intervenção neste ativo tem como melhor alternativa a execução de corretiva.

Seguindo uma linha de raciocínio muito parecida com a apresentada por Machado (2022), o seguinte trabalho apresenta uma classificação por criticidade no processo de equipamentos de uma indústria cimenteira. A metodologia toma como referencial teórico a máxima apresentada por Machado (2022), contudo com algumas customizações e parametrizações definidas internamente, por critérios de prioridade da alta direção, os quais vão ao encontro dos interesses dos negócios da indústria.

### **3 METODOLOGIA**

De acordo com Silva e Menezes (2015 p. 20) “Pesquisa é um conjunto de ações propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos”.

Classificam as pesquisas científicas como quantitativas e qualitativas. A quantitativa leva em consideração todos os fatores que possam gerar números opiniões e contexto para a investigação. A análise quantitativa se baseia em técnicas estatísticas, já a qualitativas, é necessário realizar um trabalho de campo. O campo é o momento em que o pesquisador se insere no local onde ocorre o fenômeno (Silva e Menezes, 2015).

Este Trabalho consiste em uma características mista, quantitativa e qualitativa, essa miscigenação ocorre pois muitos dos dados gerados têm como base análises abstratas, bem como a experiência dos mecânicos profissionais e gestores de manutenção.

Com foco na classificação de ativos de uma indústria cimenteira, fazendo-se a utilização de uma Matriz de Criticidade, desenvolvida para esse projeto. Os dados

foram coletados para a formação de um padrão de criticidade, e para o auxílio dos planos sistemáticos e preditivos de manutenção e a melhor abordagem dos recursos da instituição.

A metodologia e sistematização de dados usada é descrita a seguir. Dividiu-se a planta em vários setores de acordo com características semelhantes de aplicação e proximidade geográfica.

Esses setores são: Forno de Clínquer; Resfriador de Clínquer; Moinho de cru (matéria prima); Moinho de carvão (combustível para forno); Moinho de cimento (produto acabado); Britagem (Calcário principal matéria prima); Alimentação do moinho de cru; Torre de ciclone (primeiro estágio do cozimento da farinha) ; Pré-homo (homogeneização do calcário); Carvão-gesso (transporte); Condicionamento de gases; Alimentação de farinha para o forno; Transporte de clínquer para o silo; Alimentação do moinho de cimento; Transporte de cimento para o silo; Silo de cimento; Transporte para expedição cimento; Cooprocessamento (combustível alternativo para o forno); Transporte do resíduo em pó dos filtros de mangas; Extração da ensacadeira 01, Extração da ensacadeira 02; Sistema de amônia (neutralização dos gases); Utilidades; Utilidades da estação de tratamento de esgoto 01; Utilidade da estação de tratamento d'água 02; Utilidades da água usada no resfriamento do processo; Utilidades da água para a indústria; Utilidades da água potável 01; Utilidades da água potável 02; Estação de tratamento de esgoto e Resíduo líquido (combustível alternativo para o forno).

Cada setor é composto por vários equipamentos e cada equipamento teve sua criticidade analisada de acordo com o que segue.

**Segurança:** 1 – No caso de quebra/falha, o equipamento não provoca problemas de segurança e poluição | 3 – no caso de quebra/falha o equipamento provoca poluição localizada e contida, sem agredir o meio ambiente | 5 – no caso de quebra/falha o equipamento irá provocar condições inseguras ao pessoal ou ao patrimônio e também poluição agredindo o meio ambiente;

**Qualidade:** 1 – No caso de quebra/falha não afeta a qualidade dos produtos finais ou em processo | 3 - No caso de quebra/falha não afeta a qualidade dos produtos em processo é afetada (farinha/clínquer) | 5 - No caso de quebra/falha a qualidade do cimento é afetada no (produto final);

**Produção:** 1 - No caso de quebra/falha não afeta a produção e expedição | 3 - No caso de quebra/falha. A produção/expedição é interrompida ou diminuída é o volume e recuperável (não há impacto no fornecimento para o cliente | 5 - No caso de quebra/falha a produção/expedição é interrompida para o cliente;

**Gravidade da quebra:** 1 - No caso de quebra/falha não para a fábrica/ou forno ou equipamento que alimentam equipamentos comum/tem backup em paralelo | 3 - No caso de quebra/falha paralisam fornos ou um único equipamento que alimenta outros equipamentos/tem backup mais não em paralelo | 5 - No caso de quebra/falha paralisa toda a fábrica/não tem backup;

**Custo da manutenção:** 1 - No caso de quebra/falha o custo do reparo é inferior a 15.000,00 | 3 - No caso de quebra/falha o custo do reparo está entre 15.000 a 35.000,00 | 5 - No caso de quebra/falha o custo do reparo está acima de 35.000,00

De acordo com esses critérios, que podem ter números de criticidade iguais a 1, 3 ou 5. Cada parâmetro tem seu peso, chamado de “Nota importância” na planilha de criticidade. Produção tem peso 5, Qualidade peso 5, Segurança peso 5, Gravidade da quebra peso 4 e Custo da Manutenção peso 3.

Após isso, somam-se, de forma ponderada, os critérios de criticidade e chega-se a um valor de CRITICIDADE TOTAL. Se:

- **CRITICIDADE TOTAL  $\geq 65$  -> EQUIPAMENTO CLASSE A**
- **CRITICIDADE TOTAL  $< 65$  E  $\geq 41$  -> EQUIPAMENTO CLASSE B**
- **CRITICIDADE TOTAL  $< 41$  -> EQUIPAMENTO CLASSE C**

Os dados foram retirados por meio de levantamento de informações históricas, pesquisas em campo, experimentos e entrevistas com colaboradores da indústria. As informações foram tabuladas e processadas via software Excel do Pacote Microsoft Office.

Utilizou-se a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018) para confecção do presente trabalho em conjunto com o manual de escrita de trabalhos acadêmicos do Professor Souza et al (2017).

Os materiais utilizados foram um smartphone, equipamentos de medida e um notebook para registro, análise e tabulação de dados.

A aplicação da presente metodologia gerou os resultados a seguir.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O método descrito acima foi aplicado a todos os setores descritos, contudo, devido a uma limitação de espaço e também por uma necessidade de análise dos dados, uma amostra desse trabalho é apresentada a seguir, fazendo a análise de apenas um dos setores listados. Cabe destacar que uma indústria cimenteira de tamanho porte possui muitos equipamentos e colocá-los aqui no presente trabalho tornaria a análise dispersa e difusa.

Os resultados necessitam, primeiro, de uma inserção e tabulação de dados em software Excel. Essa inserção seguiu também uma ordem de prioridade de acordo com o departamento de gestão da manutenção. Primeiro foram listados e analisados os equipamentos dos setores mais críticos para o processo, deixando-se setores menos importantes por último.

Para cada equipamento, a escolha entre os números 1, 3 e 5, em função do critério de criticidade foi, por vezes, complicada. A necessidade de reuniões e integração entre diversos setores da empresa foi necessária para que nenhuma negligência fosse tolerada. Dessa forma, por exemplo, a escolha do critério de segurança ficou sob grande responsabilidade da área de segurança em conjunto com o setor de manutenção.

Por outro lado, muitas decisões tiveram que ser centralizadas em virtude de conhecimento técnica e necessidade de fluidez da construção da matriz de criticidade.

O fruto de todo esse trabalho, pelo prisma de um dos setores, é mostrado a seguir:

### 4.1 FORNO

Setor responsável por aquecer e processar parte da matéria prima. Conta com 98 equipamentos. A seguir os resultados da classificação. VERDE =A; AMARELO = B E VERMELHO = C:

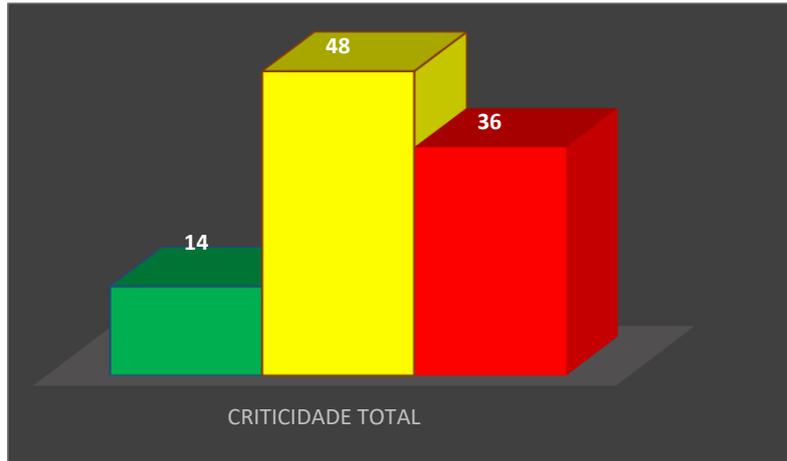


Figura 3: Análise de criticidade do setor "FORNO" de uma indústria cimenteira.

Fonte: o autor (2022).

Abaixo na Tabela 1, é ilustrado a Tabela de Criticidade, que é composta por todos os ativos que fazem parte da área quente do processo de fabricação de cimento, sendo elas: Torre de ciclones e Forno.

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
421.AM840	Analizador Gases Torre Ciclones	Pré-Aquecedor de Ciclones	44	<b>B</b>
421.EL900	Elevador Pessoas da Torre de Ciclones	Pré-Aquecedor de Ciclones	54	<b>B</b>
421.CN110	Ciclones Nº 01	Pré-Aquecedor de Ciclones	82	<b>A</b>
421.CN120	Ciclones Nº 02	Pré-Aquecedor de Ciclones	82	<b>A</b>
421.CN130	Ciclones Nº 03	Pré-Aquecedor de Ciclones	82	<b>A</b>
421.CN140	Ciclones Nº 04	Pré-Aquecedor de Ciclones	76	<b>A</b>
421.CN150	Ciclones Nº 05	Pré-Aquecedor de Ciclones	70	<b>A</b>
421.DG180	Válvula Divisora Saída do Ciclone	Pré-Aquecedor de Ciclones	70	<b>A</b>
421.BQ184	Canhão de Desobstrução da Válvula Divisora	Pré-Aquecedor de Ciclones	22	<b>C</b>
421.BQ185	Canhão de Desobstrução Saída Ciclone Nº 05	Pré-Aquecedor de Ciclones	22	<b>C</b>
421.XA413	Caixa de Rejeito da Torre de Ciclones	Pré-Aquecedor de Ciclones	22	<b>C</b>
421.XA910	Caixa de Rejeito da Torre de Ciclones	Pré-Aquecedor de Ciclones	22	<b>C</b>
421.DG182	Válvula Divisora Saída do Ciclone	Pré-Aquecedor de Ciclones	34	<b>C</b>
421.BQ183	Canhão de Desobstrução da Válvula Divisora	Pré-Aquecedor de Ciclones	34	<b>C</b>
421.CI400	Pré Calcinador	Pré-Aquecedor de Ciclones	34	<b>C</b>
421.RT430	Caixa Fumaça	Pré-Aquecedor de Ciclones	54	<b>B</b>
421.KR405	Duto de Ascensão	Pré-Aquecedor de Ciclones	34	<b>C</b>
421.SD420	Válvula Damper Sistema de Gás Quente	Pré-Aquecedor de Ciclones	62	<b>B</b>
421.FN425	Exaustor Gás Quente Tubulação Ar Terciário	Pré-Aquecedor de Ciclones	82	<b>A</b>

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
421.DU415	Tubulação Ar Terciário	Pré-Aquecedor de Ciclones	62	<b>B</b>
431.AM840	Analizador Gases Torre Ciclones	Forno de Clinquer	42	<b>B</b>
431.FN195	Ventilador Selo Entrada do Forno	Forno de Clinquer	64	<b>B</b>
431.KB102	Base 2 do Forno Clinquer (entrada farinha)	Forno de Clinquer	74	<b>A</b>
431.KL100	Forno de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RT180	Refratário do Forno	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ112	Sistema Lubrificação dos Mancais de Apoio Base 2 (entrada farinha)	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.HT120	Unidade Hidráulica de Empurro do Forno	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ150	Unidade Lubrificação Sistema Acionamento Rolo 3	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MD140	Unidade Acionamento dos Rolos do Forno	Forno de Clinquer	0	<b>C</b>
431.KS860	Scanner do Forno	Forno de Clinquer	34	<b>C</b>
431.FN190.Z01	Ventilador Casco do Forno - Nº: 01	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z02	Ventilador Casco do Forno - Nº: 02	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z03	Ventilador Casco do Forno - Nº: 03	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z04	Ventilador Casco do Forno - Nº: 04	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z05	Ventilador Casco do Forno - Nº: 05	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z06	Ventilador Casco do Forno - Nº: 06	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z07	Ventilador Casco do Forno - Nº: 07	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z08	Ventilador Casco do Forno - Nº: 08	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
431.FN190.Z09	Ventilador Casco do Forno - Nº: 09	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN190.Z10	Ventilador Casco do Forno - Nº: 10	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.KB101	Base 1 do Forno Clinquer (lado saída clinquer)	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ111	Sistema de Lubrificação dos Mancais de Apoio Base1 (saída de clinquer)	Forno de Clinquer	0	<b>C</b>
431.FN197	Ventilador do Selo Saída do Forno	Forno de Clinquer	66	<b>A</b>
431.XA175	Cabeçote do Forno	Forno de Clinquer	72	<b>A</b>
431.BU500	Queimador Principal do Forno	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.XM599	Tubo Y Tubulação Ar Primário	Forno de Clinquer	72	<b>A</b>
431.FN570	Ventilador Emergência do Queimador	Forno de Clinquer	72	<b>A</b>
431.BV571	Válvula Borboleta Saída do Ventilador 431.FN570	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FN560	Ventilador de Ar Primário	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.BU510	Sistema de Controle do Queimador do Forno - Óleo	Forno de Clinquer	72	<b>A</b>
431.BU550	Sistema de Controle do Queimador do Forno - Gás	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.FN550	Soprador de Refrigeração do Maçarico Principal	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.BL550	Ventilador de Ar Central	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.FN560.Y01	Válvula Damper com Motor Acoplado - Emergência	Forno de Clinquer	28	<b>C</b>
431.FV178	Válvula Guilhotina Saída Selo de Entrada	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.FV179	Válvula Guilhotina Saída Selo de Saída	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.IJ200	Sistema de Injeção de Hidrogênio Oxigênio/Forno	Forno de Clinquer	28	<b>C</b>

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
431.IS170	Selo de Entrada do Forno	Forno de Clinquer	54	<b>B</b>
431.IS160	Selo de Saída do Forno	Forno de Clinquer	54	<b>B</b>
431.LQ111.ZP1	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 01 - Base 1 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ111.ZP2	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 02 - Base 1 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ111.ZP3	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 03 - Base 1 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ111.ZP4	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 04 - Base 1 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ112.ZP1	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 01 - Base 2 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ112.ZP2	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 02 - Base 2 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ112.ZP3	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 03 - Base 2 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ112.ZP4	Bomba Sistema Lubrificação Mancal 04 - Base 2 - Saída de Clinquer	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.LQ150ZP1	Bomba Sistema Lubrificação Acionamento Rolo 03	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.LQ150ZP2	Bomba Sistema Lubrificação Acionamento Rolo 03	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.LQ150ZP3	Bomba Sistema Lubrificação Acionamento Rolo 04	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.LQ150ZP4	Bomba Sistema Lubrificação Acionamento Rolo 04	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.MA220	Mancal 1 de Apoio do Rolo 1	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA225	Mancal 2 de Apoio do Rolo 1	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA245	Mancal 3 de Apoio do Rolo 2	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
431.MA250	Mancal 4 de Apoio do Rolo 2	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA320	Mancal 5 de Apoio do Rolo 3	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA325	Mancal 6 de Apoio do Rolo 3	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA345	Mancal 7 de Apoio do Rolo 4	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.MA350	Mancal 8 de Apoio do Rolo 4	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.NA200	Aliança Base 1 (lado saída clinquer)	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.NA300	Aliança Base 2 (entrada farinha)	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RA210	Rolo 1 de Apoio base 1	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RA240	Rolo 2 de Apoio base 1	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RA2310	Rolo 3 de Apoio base 2	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RA340	Rolo 4 de Apoio base 2	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.RA400	Rolo de Empurro - Movimento Axial do Forno	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>
431.TK520	Tanque de Óleo para Queimador	Forno de Clinquer	72	<b>A</b>
431.WI3260	Sistema de Água Refrigeração dos Mancais Base 1	Forno de Clinquer	50	<b>B</b>
431.WI360	Sistema Água Refrigeração dos Mancais Base 2	Forno de Clinquer	50	<b>B</b>
431.WP010.M01	Bomba Geral Sistema Ignição	Forno de Clinquer	50	<b>B</b>
431.XA171	Shut Saída do Selo Entrada	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.XA173	Shut Saída do Selo Saída	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.BL565	Soprador de Refrigeração do Maçarico Principal	Forno de Clinquer	62	<b>B</b>

TAG	EQUIPAMENTO	SETOR	N	CRITICIDADE TOTAL
<b>CRITÉRIO DE NOTAS</b>				
431.CL010	Sistema de Arrefecimento do Fire Up do Forno	Forno de Clinquer	28	<b>C</b>
431.CL010.M01	Compressor do Sistema de Arrefecimento	Forno de Clinquer	42	<b>B</b>
	Bomba do Sistema de Arrefecimento	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.CL010.M03	Ventilador do Sistema de Arrefecimento	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>
431.CL010.M04	Ventilador do Sistema de Arrefecimento	Forno de Clinquer	22	<b>C</b>

Tabela 1: Tabela de Criticidade da Área Quente de uma indústria cimenteira.

Fonte: o autor (2022).

Como pode ser observado, 14,3% dos equipamentos analisados enquadram-se na criticidade A, um pouco menos do que os 20% do Pareto. Porém, quando a amostra aumenta, atingindo todos os setores da indústria, esse número fica bem próximo de 20%, mostrando que a máxima de Pareto aplica-se perfeitamente a uma análise de criticidade minuciosa e criteriosa. Desse modo, apenas 14,3% dos equipamentos desse setor podem ocasionar quase 80% dos problemas que podem acontecer no mesmo. Logo, é crucial que as atenções e os planos de manutenção estejam voltando para atender a esta demanda para que o equipamento se mostre confiável na grande parte do seu tempo de vida útil e operação.

Por outro lado, 48,9% dos equipamentos enquadram-se na classificação B de equipamentos, sendo maioria no setor. Esses equipamentos devem ter sua disponibilidade máxima, porém não necessitam de um grau de confiabilidade tão alto no processo já que uma eventual falha em algum deles provocará menos de 20% dos danos possíveis no processo.

Por último, 36,8% dos equipamentos classificam-se como equipamentos tipo C os quais não necessitam de um controle tão rigoroso de confiabilidade e disponibilidade, mas necessitam, ainda assim, de uma gestão sábia e competente para que possam representar o menor custo de manutenção possível. Isso porque se algum deles falhar, isso não representará nem 10% dos efeitos no processo de produção. Logo, o custo com o seu reparo e o seu controle de manutenção devem também ser mínimos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o exposto, pode-se considerar que uma correta aplicação de análise de criticidade em máquinas e equipamentos, independentemente da localização e da sua aplicação, é de extrema importância para definir-se uma prioridade de energia, investimentos e cuidados.

Como pode ser visto, somente em um dos setores da indústria cimenteira citada, tem-se quase 100 equipamentos. Seguindo essa média, tem-se quase 3000 equipamentos a serem monitorados em uma única indústria. Ter o mesmo foco e energia na manutenção de cada um deles é tarefa hercúlea, árdua e inatingível sob diversos aspectos. Tentar cuidar e controlar tudo sem priorizar é justamente um dos maiores problemas enfrentados na gestão da manutenção. E é nesse âmbito que a análise de criticidade encontra a sua principal vantagem: aplicar o princípio de Pareto, minimizando 80% dos efeitos, controlando-se de forma rigorosa 20% das causas.

Essa lógica é aplicada na análise de criticidade exposta no presente trabalho e fica clara ao observar, por exemplo, que equipamentos classe A, responsáveis por 80% dos danos que o processo pode sofrer na situação em falhem, representam menos de 20% do total de ativos a serem controlados.

Portanto, ao priorizar através da matriz de criticidade, consegue-se abrir um horizonte de possibilidades nos quais focar energia, economizar tempo e recursos ao tratar do que realmente tem um maior impacto. Dessa forma, o plano de manutenção por vir após a matriz de criticidade terá ferramentas e dados suficientes para ser eficiente e eficaz em sua tarefa de aumentar a confiabilidade e disponibilidade da planta de operação, diminuindo custos e riscos para os trabalhadores, o patrimônio e o negócio como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2018.

BARAN, Leandro Roberto; TROJAN, Flávio; KOVALESKI, João Luiz; PIECHINICKI, Stefano. **Métodos e Ferramentas aplicados na Análise de Criticidade em Sistemas Industriais**. Ponta-Grossa. III Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Associação Paranaense de Engenharia de Produção (APREPRO). Dezembro de 2013.

BRUSSIUS JR, William. **Estratégia de manutenção centrada na confiabilidade para três máquinas de produção em uma empresa de transformação mecânica**. Dezembro de 2016. 26 f. Artigo de Conclusão de Pós-graduação. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Porto Alegre. 2016.

COUTINHO, Ítalo. **Importância da criticidade de equipamentos na gestão da manutenção**. Universidade de Belo Horizonte (UNIBH). Belo Horizonte. 2022.

FABRO, Elton. **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo**. 99 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Dezembro de 2003.

MACHADO, Mauricio. **Matriz de Criticidade de Ativos – Você já ouviu falar? Sabe classificar?** Artigo profissional do LinkedIn, publicado em Setembro de 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/matriz-de-criticidade-ativos-voc%C3%AA-j%C3%A1-ouviu-falar-sabe-machado/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 25 de Outubro de 2022.

MICHELON, Éden Carlos. **Gestão da manutenção: análise da criticidade em equipamentos de uma indústria no sudoeste do Paraná**. Dezembro de 2019. 56 f. Artigo de Conclusão de Pós-graduação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Francisco Beltrão. 2019.

MORAES, Rafael José Ribeiro de; GOMES, Gabriel; FRANCHINI, André; FERNANDES, Edson; SEQUEIRA, Renan. **O desenvolvimento do conceito teórico referente à manutenção industrial**. Brazilian Technology Symposium. ISSN 2447-8326 V.1. 2020.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preditiva, volume 1**. Editora Edgard Blucher Ltda. 1º edição 1989. ISBN 978-85-212-0092-5. São Paulo, 2018.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e elaboração de dissertações**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2015.

SOUZA, Adilson Veiga e; ILKIU, Giovana Simas de Melo. **Manual de normas técnicas para trabalhos acadêmicos**. União da Vitória, Kaigangue, 2017. Disponível em: <https://www.uniguacu.edu.br/content/uploads/2018/02/Manual-de-Normas-Vers%C3%A3o-Revisada-04-10-2018.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2021.