

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO**

FABIO LUIZ MARCOVICZ

**APLICAÇÃO DO MÉTODO JACK-KNIFE PARA DETERMINAR
FALHAS CRÍTICAS EM UMA MANDRILHADORA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018
FABIO LUIZ MARCOVICZ

**APLICAÇÃO DO MÉTODO JACK-KNIFE PARA DETERMINAR
FALHAS CRÍTICAS EM UMA MANDRILHADORA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Gerência de Manutenção



TERMO DE APROVAÇÃO

**APLICAÇÃO DO MÈTODO JACK-KNIFE PARA DETERMINAR FALHAS CRÍTICAS
EM UMA MANDRILHADORA**

por

FABIO LUIZ MARCOVICZ

Esta monografia foi apresentada em 10 de agosto de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues, Doutor.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Ubirajara Zoccoli, Mestre
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico a minha esposa pelos momentos que não lhe dei a atenção merecida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus amigos de empresa por fornecer as informações necessárias para elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Rigoni, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus amigos do curso que proporcionaram e ofereceram conhecimento durante as conversas e discussões em sala de aula.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha esposa, pois acredito que sem o apoio dela seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Marcovicz, Fabio Luiz. Aplicação do método Jack-Knife para determinar falhas críticas em uma mandrilhadora. 2018. 52. Monografia (Especialização em Gerência de Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A determinação de falhas que mais comprometem o desempenho da manutenção e dos ativos da empresa nem sempre é de fácil visualização. Então, propõem-se estudar e aplicar o método de priorização de falhas Jack-Knife em uma mandrilhadora. O método consiste na construção de um diagrama, o qual as falhas estão localizadas em quatro quadrantes. Para obter o diagrama é necessário ter um banco de dados confiável dos históricos e ações que manutenção realizou num equipamento ou sistema. Para identificar quais falhas foram críticas e que mais contribuíram com a indisponibilidade. O método também permite fazer a análise de dois parâmetros, que estão relacionados, ao mesmo tempo, ou seja, num mesmo diagrama o qual advém da quantidade de falhas e do tempo de reparo daquela falha. Estas informações são expressas em um gráfico de dispersão, nos quais os eixos estão em escala logarítmica. E aplica-se os limites para fazer a separação dos quadrantes. As falhas que se localizarem no quadrante superior direito, são as falhas críticas que tiveram maior tempo de reparo e maior frequência de ocorrência. Sendo estas as primeiras a receber ações de melhoria para que possam ser resolvidas e não se repitam novamente. Para a mandrilhadora foram localizadas duas falhas críticas que é o rompimento da correia e falha no sistema hidráulico. Estas duas falhas somadas são responsáveis pela metade do tempo de indisponibilidade do equipamento. Estes sistemas que falharam estão cobertos por planos preventivos e estes planos tem que ser referenciados com as horas programadas de uso do equipamento e não por tempo ou dias corridos.

Palavras-chave: Diagrama. Jack-Knife. Análise de Falhas. Mandrilhadora.

ABSTRACT

Marcovicz, Fabio Luiz. Application of the Jack-Knife Method to determine critical failures in a boring machine. 2018. 52. Monografia (Especialização em Gerência de Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The determination of failures that most compromise the maintenance performance in a company assets is not easy to identify. Therefore, it is proposed to study and apply the method of prioritizing failures Jack-Knife in a boring machine. The method consists of the construction of a diagram, which the faults are located in four quadrants. To get the diagram you need to have a reliable database of the history and actions that performed maintenance on an equipment or system. To identify which failures were critical and which contributed most to the unavailability. The method also allows the analysis of two parameters, which are related at the same time, on the same diagram which comes from the number of failures and the time of repair of each failure. This information is expressed in a scatter plot, in which the axes are in logarithmic scale. And the limits are applied to separate the quadrants. The faults that are located in the upper right quadrant are the critical failures that have had the longer repair time and the higher frequency of occurrence. These are the first to receive improvement actions so that they can be resolved and not be repeated again. Two critical failures were found in a boring machine. They are the broken belt and failures of the hydraulic system. These two failures together account for half of the equipment downtime. These failed systems are covered by preventive plans and these plans have to be referenced with the scheduled hours of use of the equipment and not for time or days running.

Palavras-chave: Jack-Knife. Diagram. Failure Analysis. Boring Machine

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Foto da mandrilhadora – área de usinagem	25
Figura 2 – Foto da mandrilhadora – sistema porta ferramenta	26
Figura 3 – Sistema de Gerenciamento de Manutenção, menu principal	41
Figura 4 – Sistema de Gerenciamento de Manutenção, barra de ferramentas	42
Figura 5 – Sistema de Gerenciamento de Manutenção, exportar dados	42
Gráfico 1 – Fases da vida da Mandrilhadora	28
Gráfico 2 – Indisponibilidade da Mandrilhadora	28
Gráfico 3 – Diagrama Jack-Knife sem os pontos de estudo	33
Gráfico 4 – Diagrama Jack-Knife para os sistemas dos equipamentos	37
Gráfico 5 – Diagrama Jack-Knife para as falhas dos motores dos equipamentos	39
Gráfico 6 – Diagrama Jack-Knife para a Mandrilhadora	44
Gráfico 7 – Diagrama Jack-Knife para a Mandrilhadora com os quadrantes	45
Quadro 1 – Base de dados da frota de tratores	36
Quadro 2 – Base de dados para os motores da frota	38
Quadro 3 – Falhas da mandrilhadora	43
Quadro 4 – Localização das falhas	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores de Qualidade	14
Tabela 2 – Indicadores de Disponibilidade	15
Tabela 3 – Custos da Manutenção	19
Tabela 4 – Total de ordens de serviço que a mandrilhadora recebe por ano	27
Tabela 5 – Base de dados para obtenção do Diagrama Jack-Knife por falhas	32
Tabela 6 – Horas programadas para o equipamento	47
Tabela 7 – Tempo médio entre as falhas críticas	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

CCQ	Círculos de Controle de Qualidade
MCC	Tempo Médio de Reparo
MTTR	Manutenção Centrada em Confiabilidade
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
RCFA	Root Cause Failure Analysis
TMEF	Tempo Médio Entre Falhas
TPM	Total Productive Maintenance

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
FMEA	Failure Mode and Effect Analyses

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	SISTEMA DE MANUTENÇÃO E EQUIPAMENTO	22
2.1	SISTEMA DE MANUTENÇÃO	22
2.2	DETALHES DA MANDRILHADORA	24
2.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	29
3	REFERENCIAL TEÓRICO	30
3.1	MÉTODO JACK-KNIFE	30
3.2	OBTENÇÃO DO DIAGRAMA JACK-KNIFE	31
3.3	APLICAÇÕES	34
3.4	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	35
3.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	39
4	DESENVOLVIMENTO	41
4.1	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	41
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO JACK-KNIFE	44
4.3	VERIFICAÇÕES DOS PLANOS PREVENTIVOS	47
4.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	49
5	CONCLUSÃO	50
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Com uma demanda crescente para se conseguir alta disponibilidade dos ativos fixos nas indústrias, a manutenção se utiliza de muitas ferramentas e metodologias para prover a qualidade da manutenção, sistemas, análises, horas de planejamento e horas para execução das manutenções.

Neste trabalho, com a análise do histórico de manutenções corretivas de uma mandrilhadora, propõem-se determinar quais falhas foram crônicas, através dos diagramas Jack-Knife. Posteriormente serão analisadas as manutenções preventivas para verificar se as ações preventivas estão sendo eficazes para evitar novas falhas críticas.

A aplicação da metodologia para obter os diagramas Jack-Knife não é difundida e nem utilizada, como mostra a Tabela 1, retirada do Documento Nacional de 2013. A situação da manutenção no Brasil do 28º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos da ABRAMAN.

Tabela 1 – Indicadores de Qualidade

Ferramentas utilizadas para prover a qualidade na manutenção (% de resposta)								
Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CCQ	TPM	6 Sigma	Outros
2013	19,25	23,26	16,31	17,91	-	12,83	10,43	0,00
2011	17,03	27,86	17,34	15,79	-	12,69	9,29	0,00
2009	16,48	28,74	14,94	16,09	-	13,03	10,73	0,00

Fonte: Adaptado de ABRAMAN (2013).

Com o objetivo de reduzir a severidade das falhas, o histórico do equipamento, fornecerá informações importantes para que se possa alcançar um plano preventivo que satisfaça os indicadores da Fábrica.

O equipamento em estudo é considerado *Constrain* e está no segundo estágio do Pilar de Manutenção Autônoma do TPM *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total). Muitas ações já foram realizadas com o objetivo de reduzir perdas. Mas, mesmo com a atenção da manutenção, ainda há falhas que prejudicam os indicadores e a moral da equipe.

Como uma nova oportunidade para extrair benefícios das ações da manutenção, este estudo ajudará na direção, organização e qualidade do setor de Manutenção.

Faz parte de toda organização buscar zero acidentes, zero defeitos, zero perdas e zero atrasos. A maneira de se alcançar os objetivos precisa ser levada em consideração, pois estes indicadores, muitas vezes comuns, norteiam os indicadores específicos das empresas.

No caso da manutenção, seria a disponibilidade do equipamento, a qual tem forte relação com as perdas citadas. Conforme a Tabela 2, retirada do Documento Nacional de 2013 da ABRAMAN, a média de disponibilidade dos últimos anos está na ordem de 90% do tempo de utilização do equipamento.

Tabela 2 – Indicadores Disponibilidade

Indicadores de Disponibilidade (%)		
Ano	Disponibilidade operacional	Indisponibilidade devido a Manutenção
1997	85,82	4,74
1999	89,30	5,63
2001	91,26	5,15
2003	89,48	5,82
2005	88,20	5,80
2007	90,82	5,30
2009	90,27	5,43
2011	91,30	5,44
2013	89,29	6,15

Fonte: Adaptado de ABRAMAN (2013).

Outra informação importante retirada da Tabela 2 é que a falta de manutenção adequada no parque fabril causou uma indisponibilidade de 5,5% nos últimos anos.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

A falha no equipamento vai gerar inúmeras perdas, as quais, no final do processo, são traduzidas em recursos financeiros. O equipamento objeto de estudo

tem seu funcionamento limitado em um turno de trabalho, resultando em 8,8 horas por dia e somente em dias de semana.

Um fator importante é a diversidade de recursos, os quais, muitas vezes, permite que o equipamento, mesmo com um defeito, possa chegar ao final do turno ou ao final de semana para ser reparado. Neste caso, a importância de se analisar as corretivas planejadas é fundamental.

O defeito pode não prejudicar o indicador de disponibilidade, mas prejudica indicadores financeiros, como excesso de hora extras, gasto com energia elétrica, ar comprimido, óleo hidráulico e transporte. Quando isto acontece, as utilidades sempre são consumidas em valores dilatados em relação a operação normal. Estes valores, muitas vezes, não são mensurados normalmente.

Então, a condição singular de operação do equipamento pode mascarar a eficiência da Manutenção. Exposto isto, espera-se conseguir um histórico que permita trabalhar com as ocorrências de forma a ajudar a manutenção em suas ações obtendo ganhos com a redução de diversas perdas.

Como o custo é um fator importante na gestão da manutenção, adotar práticas de manutenção e análises que alcancem a alta performance dos ativos, passa a ser requisitos da engenharia.

Sem contar que o excesso de intervenções pode acarretar em falha humana, pois conforme Seixas (2008), mesmo com o aumento das técnicas de automação nas indústrias ainda é impossível eliminar o elemento humano na operação da manutenção.

Quando a ação humana produz um resultado diferente daquele que se pretendia ou que se deveria obter, ABNT NBR 5462 (1994), este é um fator que afeta o desempenho de uma manutenção. O erro humano pode ser ativo ou latente.

Erros ativos são de fácil detecção, na maioria dos casos são detectáveis por pessoas, sistemas nos quais eles operam. E este erro retorna à informação diretamente para eles.

Erros latentes são consequências que não se manifestam ou se realizam por um período de tempo longo.

Então, presume-se que a coleta de dados, a tratativa deles e a aplicação na obtenção dos diagramas Jack-Knife poderá ajudar no desempenho geral da

manutenção? Será possível mudar os planos preventivos do equipamento? Será obtida uma economia financeira com ações mais direcionadas?

1.2 OBJETIVOS

Investigar os históricos da manutenção de uma mandrilhadora, a qual é um dos maiores ativos do parque fabril da empresa. Com isto espera-se reduzir as horas de manutenção corretiva e direcionar ações de forma mais eficaz para as manutenções preventivas.

Outro ponto importante é que, no volume de produção atual, o equipamento tem aproximadamente 2/3 de suas horas diárias de ociosidade. Mas, caso num futuro este equipamento passe a ser mais exigido, a manutenção tem que estar preparada para enfrentar as adversidades.

Um histórico de manutenção representativo é fundamental para manter registrada e acessível a memória técnica do equipamento, fornecer subsídio as análises de falha e auxiliar na análise crítica dos planos de manutenção, Dorigo e Xavier, (2013).

Em determinado momento do trabalho, caso seja necessário, alterar alguma nomenclatura, forma de apontamento de horas, melhorias também serão propostas.

Este estudo não tem como objetivo principal analisar e chegar na causa raiz das falhas e sim pesquisar todas as intervenções na qual manutenção agiu sobre o equipamento, classifica-las e extrair as manutenções corretivas, englobando a planejada e não planejada. Pois as duas formas comprometem a função requerida do equipamento.

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar as falhas críticas de uma mandrilhadora aplicando o método Jack-Knife. Com base nesta informação a Manutenção poderá priorizar e direcionar esforços para evitar que as falhas críticas voltem a ocorrer.

Depois de analisar, organizar as informações para utilizar o método Jack-Knife e propor novas ações de melhoria. E como resultado espera-se reduzir a atuação em paradas corretivas do equipamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que este trabalho deve atender para cumprimento do seu objetivo geral são:

- Estudar o método Jack-Knife e a forma de obtenção de seus diagramas.
- Investigar casos onde a método Jack-Knife foi aplicado e verificar seus conceitos, formas de agrupar os dados e como o resultado ajudou na engenharia de manutenção;
- Coletar os dados de falhas da mandrilhadora através do sistema de gerenciamento da manutenção e filtrar as intervenções que geraram indisponibilidade;
- Aplicar o método Jack-Knife determinar em qual quadrante as falhas se localizam;
- Propor melhorias para o sistema de manutenção com a identificação de falhas que mais prejudicam a indisponibilidade.

1.3 JUSTIFICATIVA

A não utilização de ferramentas adequadas para o planejamento de eventos pelo departamento de manutenção demonstra que, a qualidade deste departamento não condiz com a realidade e Nagao (1999) afirma que, o impacto de uma

manutenção inadequada e ineficiente, pode resultar para a empresa a sua rentabilidade e sua sobrevivência.

Também segundo Nagao (1999) a manutenção tem-se destacado cada vez mais como uma área fundamental para o sucesso das empresas, sendo assim, a manutenção deve estar preparada com técnicas e ferramentas que possam auxiliar o desenvolvimento do planejamento de manutenção.

De acordo com Cruz e Pérez (2001), não se pode conceber uma empresa moderna sem uma política de manutenção, pois dela dependem os seguintes fatores: a funcionalidade, a disponibilidade e conservação de seus ativos produtivos, representando desta forma em um incremento significativo na vida útil dos equipamentos e instalações.

Diante disto, espera-se redução de custo. E com a competitividade cada vez mais acirrada, o custo da manutenção passa a ser estratégico para se obter lucro. Na Tabela 3, vemos o custo da manutenção em relação ao faturamento bruto ABRAMAN (2013). Na média destes custos chegam a 4,17%, a qual, segundo Kardec et al (2007) é alta.

Com a redução do custo de manutenção espera-se melhorar os indicadores financeiros da empresa. E o que mais se escuta em reuniões de estratégia é que o cliente não deve pagar por ineficiências de processos.

Neste cenário competitivo não há espaço para improvisos, afirmou Rodrigues (2003), tudo deve estar planejado, estudado para garantir e transmitir confiabilidade dentro e fora da manutenção.

Tabela 3 – Custos da Manutenção

Ano	Custo Total da Manutenção / Faturamento Bruto (%)
2013	4,69
2011	3,95
2009	4,14
2007	3,89
2005	4,10
2003	4,27
2001	4,47
1999	3,56
1997	4,39

1995	4,26
Média	4,17

Fonte: Adaptado de ABRAMAN (2013).

Espera-se garantir que, em um aumento de demanda da produção, a manutenção esteja preparada e o planejamento de tempo para ser realizado as preventivas seja aproveitado, com ações que possam manter a confiabilidade do equipamento. Como nos casos em que o equipamento era exigido 24 horas por dia.

Garantir que o equipamento possa fornecer qualidade no seu processo de usinagem com o uso e consumo adequado de ferramental.

Diminuir o número de intervenções corretivas e por consequência não introduzir falhas humanas, associadas a situações de cobranças, falta de planejamento e de não ter um diagnóstico preciso sobre a pane, podem gerar efeitos catastróficos no futuro.

Ter um melhor aproveitamento dos recursos da manutenção, tais como: peças sobressalentes, recursos de energia, horas de trabalho e consumo de utilidades.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Entender o conceito por traz do método Jack-Kinfe e a forma de obtenção dos seus diagramas. A diferença entre os diagramas de Pareto e os diagramas Jack-Knife.

Realizar uma pesquisa para buscar estudos, no qual, o método Jack-Knife foi utilizado a forma com que os dados foram agrupados e principalmente em que o estudo ajudou a engenharia de manutenção a melhorar o setor.

Os dados da mandrilhadora serão coletados do sistema de manutenção, o qual através do código do equipamento, pode-se ter acesso a todas intervenções da manutenção. Este histórico depende da clareza e veracidade dos apontamentos.

Os dados serão exportados para o software Microsoft Excel, o qual poderá ser filtrado através de sua classificação, a modalidade do atendimento.

Tendo somente as ações corretivas, será manualmente agrupado e gerado um novo quadro com somente as informações: descrição da falha, tempo de reparo, indisponibilidade que gerou.

Com as informações do equipamento, aplicar o método Jack-Knife que nos mostrará as falhas agudas e crônicas do equipamento.

Após ter conhecimento quais são as falhas agudas e crônicas, será proposto melhorias para manutenção de modo que seja possível aumentar o tempo médio entre falhas do equipamento.

Todo este estudo será realizado nas dependências da empresa, utilizando seus recursos de informática e a disponibilidade de tempo do planejador de manutenção.

Este estudo irá gerar conhecimento o qual poderá ser replicado para outros equipamentos da planta, caracterizando como uma pesquisa aplicada.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo inicial trata da explicação do problema, focado no histórico de falhas de um único equipamento, o qual espera-se melhorar sua performance, indicadores de manutenção e organizar a gestão da manutenção.

O capítulo 2 trata com detalhes como são coletados e armazenados os dados do equipamento, a forma que a manutenção preenche a ordem de serviço e como é caracterizada a falha. Também apresenta em que momento e quais são as premissas para se gerar uma análise de causa raiz, a forma que os relatórios são gerados e a estrutura da manutenção. Diante disto explicar qual a função e a capacidade do equipamento mostrando de forma mais detalhada a importância do estudo.

O capítulo 3 apresenta um referencial teórico para mostrar como são obtidos os diagramas Jack-Knife e estudos de caso onde foram aplicados os diagramas Jack-Knife.

O capítulo 4 expõe como foi tratado os dados e o resultados da aplicação do método Jack-Knife, evidenciando as falhas crônicas e agudas do equipamento,

trazendo os planos preventivos que estão relacionados com as falhas separadas supracitadas.

O capítulo 5 conclui com as ações que foram tomadas para garantir uma manutenção preventiva eficiente, de modo a reduzir as manutenções corretivas, minimizando perdas. Uma continuação a este trabalho será medir os resultados desta aplicação.

2 SISTEMA DE MANUTENÇÃO E EQUIPAMENTO

Neste capítulo será visto como o sistema de manutenção faz seu gerenciamento de ordens de serviço. Este entendimento será fundamental para filtrar as ordens que geraram indisponibilidade do equipamento. Também será mostrado que o equipamento é um ativo significativo e tem um papel importante na produção.

2.1 SISTEMA DE MANUTENÇÃO

A manutenção dos ativos é realizada internamente e de forma centralizada e as diversas modalidades de ordem de serviço são gerenciadas por meio de um software, o qual controla todas as ações da manutenção. Nele se mantem o histórico de todas as intervenções da manutenção.

Quando ocorre uma falha uma ordem de serviço é aberta pelos operadores, pessoas da produção ou pela própria manutenção. Após a ordem aberta a manutenção fará sua classificação.

Pode se classificar as ordens de serviços em 12 modalidades para a gestão da manutenção. Deste modo, além dos manutentores, todos os funcionários da manutenção podem e devem apontar horas de atividades da área. As modalidades são:

- Alteração de layout: quando a manutenção é solicitada a realizar mudanças na disposição dos equipamentos da fábrica e fornecimento de utilidades, como ar comprimido, óleos, água, energia elétrica e ponto de rede;
- Atividades sistemáticas: são as atividades preventivas e preditivas nos ativos. As tarefas para as manutenções preventivas são inseridas no sistema pelo planejamento de manutenção e conforme o cronograma e periodicidade são emitidas as ordens de serviços;
- Atividades administrativas: especificação de material para compra, elaboração de relatórios, análises de controles internos e indicadores, atualização de um desenho, esquema elétrico, hidráulico e pneumático;
- Acompanhamento técnico de atividades: quando um serviço é solicitado ao fabricante de um equipamento em garantia, neste momento a manutenção acompanha a atividade para até mesmo aprender mais sobre o equipamento. Ou quando um equipamento é comprado e é responsabilidade do fabricante de realizar sua instalação;
- Atividade de TPM: quando a ordem de serviço foi criada devido a um cartão do TPM;
- Calibração: é utilizada quando a manutenção necessita realizar a calibração ou aferição de máquinas, equipamentos e sistemas do processo produtivo;
- Corretiva não planejada: quando a manutenção é acionada para solucionar um problema de produção interrompida devido a indisponibilidade de seus ativos;

- Corretiva planejada: quando houve um defeito e é possível esperar até uma parada da produção para correção, neste caso não se afeta a disponibilidade. Esta forma de classificação é possível, pois a fábrica trabalha somente em um turno e em dias de semana;
- Capacitação de pessoal/treinamento: todos os funcionários da manutenção necessitam apontar horas dedicadas a treinamento e cursos;
- Instalação: quando a manutenção necessita instalar uma máquina ou equipamento novo, que não seja assistida pelo fabricante;
- Melhoria: quando é identificado alguma melhoria pelos processos gerenciais da fábrica e está melhoria é em um ativo;
- Manutenção de processo: é quando a manutenção é acionada através de um alarme de sistemas de supervisórios, estes alarmes somente são de avisos. Como por exemplo, completar nível de óleo, checar nível de água em banco de baterias. O sistema irá avisar da atividade a ser executada.

Quando uma corretiva não planejada afeta a produção por um tempo superior a 30 minutos, a manutenção deve apresentar uma análise de causa raiz em até 48 horas. Mas, muitas vezes não é possível pois para se determinar a falha são necessários ensaios de laboratórios, extrapolando se o tempo de 48 horas.

Desta forma é possível manter todo o histórico da manutenção e dar início a gestão do conhecimento dentro do setor de manutenção. A classificação da ordem é a chave para a geração de relatórios confiáveis.

Assim, a manutenção cria suas próprias ferramentas para enfrentar as mais diversas situações que podem ocorrer em seu domínio.

O sistema de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) além de ser informatizado e mais confiável depende da alimentação manual de dados. Então, todo o sucesso deste gerenciamento de informação depende da classificação da ordem de serviço, a forma como o manutentor descreve o problema que gerou a falha, a causa raiz deste problema e solução da causa raiz.

2.2 DETALHES DA MANDRILHADORA

Uma mandrilhadora faz parte dos equipamentos de usinagem que utiliza ferramentas de geometria definida, enquadrando-se em processo de usinagem convencional.

A mandrilhadora que é objeto deste estudo é um equipamento com Controle Numérico Computadorizado e pode ser visualizado na Figura 1 e na Figura 2. Nestas figuras alguns componentes e sistemas são evidenciados por números. O item 1 é a cabine de comando no qual o operador fica durante todo o processo de usinagem acompanhando cada movimento e troca de ferramenta.

O item 2 é o trocador de ferramenta, este equipamento tem capacidade de armazenar até 120 ferramentas em seu porta-ferramentas e cada ferramenta pode ter até 35kgf.

Para o item 3 não é possível visualizar seus componentes internos, apenas onde estão localizados. Mas, tem uma função importante pois é o sistema de contra-peso do cabeçote de usinagem item 4 que tem deslocamento vertical de 3.000mm. A ferramenta tem seu avanço de 1.000mm na horizontal com velocidade de avanço de 30m/mim.

Todo este conjunto, inclusive a cabine do operador se movimentam sobre um eixo de curso de 6.000mm mostrado pelo item 5.

Toda a área de usinagem é cercada por proteções amarelas que nada mais é que um equipamento de proteção coletiva para impedir a projeção do cavaco oriundo da usinagem.

Figura 1 – Foto da mandrilhadora – área de usinagem



Fonte: o autor (2018).

Neste equipamento a peça é fixada em um carro de dimensões 3.000x2.000mm. Este carro tem capacidade de receber peças de até 16 toneladas.

O eixo do carro também tem um curso de 6.000mm e pode girar e no centro se aproximar do cabeçote de usinagem, o curso de aproximação é de 3.000mm.

Com estas características é notável que o equipamento é destinado a usinagem de peças de grande porte.

Figura 2 – Foto da mandrilhadora – sistema porta ferramenta.



Fonte: o autor (2018).

Por ano este equipamento recebe muitas horas de serviço entre todas as modalidades conforme a tabela 4.

Outro fato importante que a partir do ano de 2016 a metodologia TPM começou a ser aplicada neste equipamento, deste modo é possível ver a evolução, ou a melhora no número de manutenções corretivas, nos anos seguintes. Também a média de horas que o equipamento ficou indisponível, melhorou.

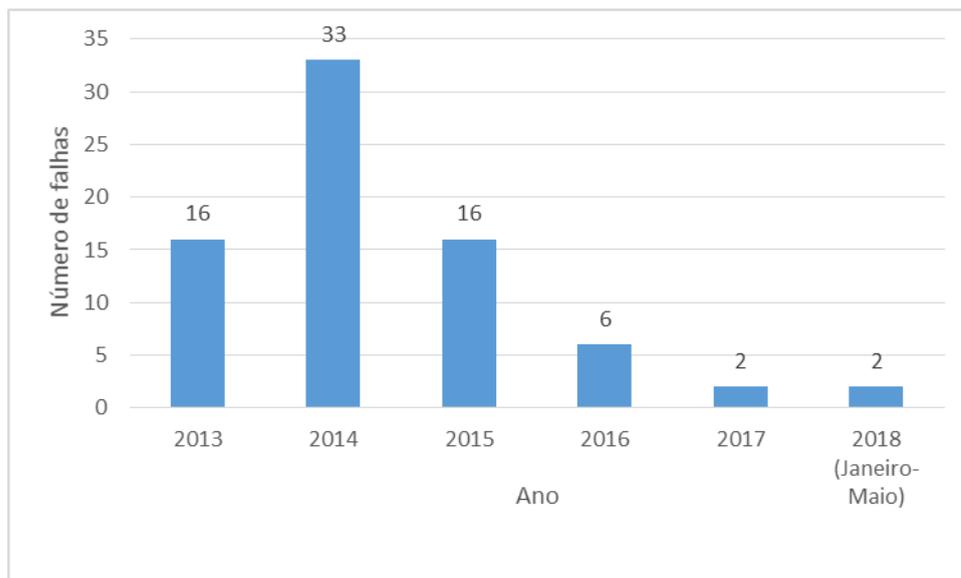
Tabela 4 – Total de ordens de serviço que a mandrilhadora recebe por ano

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018 (Janeiro-Maio)	Total
Número de intervenções	120	210	178	172	104	35	819
Preventivas	28	51	50	46	42	12	229
Corretiva planejada sem parada da máquina	69	90	90	72	26	5	352
Corretiva planejada com pequena parada	1	0	1	4	1	1	8
Indisponibilidade (h)	0,37	0	0,65	4,9	0,33	0,97	7,22
Corretivas não planejada	16	33	16	6	2	2	75
Indisponibilidade (h)	81,58	170,26	32,15	3,96	19,71	13,84	321,5
MTTR (h)	4,82	5,16	1,93	0,89	6,68	4,94	3,96

Fonte: o autor (2018).

Também esta visualização pode ser feita no gráfico 1, que mostra a quantidade de falhas, corretivas não planejadas, ao longo dos anos. A partir de 2014 muitas ações foram feitas que culminaram com a tendência de baixo número de falhas que causaram indisponibilidade.

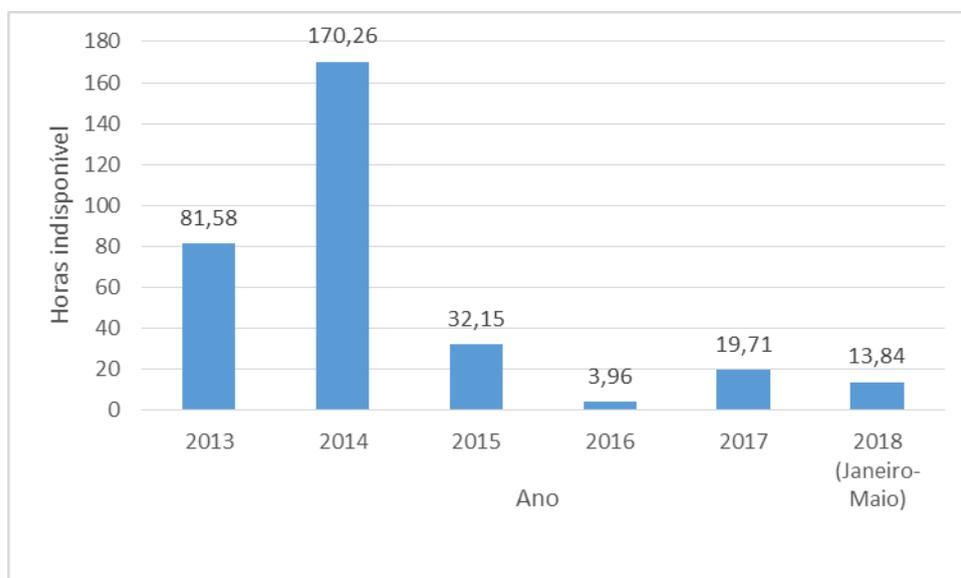
Gráfico 1 – Fases da vida da mandrilhadora



Fonte: o autor (2018).

No gráfico 2 é possível verificar a indisponibilidade em horas por ano do equipamento.

Gráfico 2 – Indisponibilidade da mandrilhadora



Fonte: o autor (2018).

Com a análise do Gráfico 2, vê-se uma redução da indisponibilidade do equipamento a partir do ano de 2015, isto pode ser atribuído também a maturidade da equipe de manutenção.

2.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O capítulo 2 explicou como são classificadas as ordens de serviço no setor de manutenção, e a importância de uma classificação correta por parte do manutentor, pois esta informação é de primordial importância na geração de um histórico confiável e a manipulação destes dados que dão os indicadores da manutenção.

As características do ativo objeto de estudo, mostram que é um equipamento que quando está indisponível, toda a cadeia produtiva é afetada e não somente isto, mas a moral da equipe de manutenção que não consegue fornecer a disponibilidade operacional necessária. Consequentemente prejudicando economicamente a empresa.

No próximo capítulo será explicado a forma de obter o diagrama Jack-Knife, os estudos de casos onde este método foi aplicado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Kardec e Xavier, (2010), para se alcançar as metas planejadas, ou seja, para ir do estágio atual para um estágio futuro melhor, é preciso implementar plano de ação com as melhores práticas.

Para Dorigo e Xavier, (2013) algumas das melhores práticas gerenciais na manutenção são: A análise de falha, para se chegar na causa raiz do problema e não permitir que ele seja repetitivo, revisão anual dos planos de manutenção e análise crítica das intervenções com foco na disponibilidade e confiabilidade para melhor direcionar os recursos (pessoas, material, sobressalentes e dinheiro) que cada vez mais são limitados.

Então, se as melhores práticas culminam para se atingir um ponto de excelência e existem muitas metodologias de trabalho para isto, cabe a organização escolher qual deve ser implementada ou qual se encaixa melhor no perfil da empresa. Mas, para isto é necessário conhecer muito bem a organização. E ter um conhecimento muito aprofundado das metodologias que podem ser aplicadas.

O método Jack-knife ainda desconhecido da manutenção, não aparecem em pesquisas da ABRAMAN. Mas, pode ser uma forma da manutenção priorizar suas ações, tendo como base o seu histórico de falhas, explorando as falhas que foram críticas. Assim, direcionando e priorizando suas ações para evitar a recorrência no futuro.

3.1 MÉTODO JACK-KNIFE

O método Jack-Knife possibilita uma forma mais aprimorada de tomada de decisão do que os diagramas de Pareto. Os diagramas de Pareto somente analisam um fator por vez. A deficiência ao se analisar somente um fator é relatado em Knights (2001).

Um exemplo claro ao se analisar somente um fator por vez pode trazer uma falsa interpretação dos dados. Um exemplo disto é quando comparamos os gráficos 1 e 2: O ano 2016 teve 6 falhas e o ano de 2017 teve somente 2 falhas. Então, erroneamente pode se pensar que 2016 foi um ano pior para a manutenção. Mas, agora vendo pelo lado da indisponibilidade em 2016 as horas indisponíveis somaram 3,96 horas contra 19,71 em 2017. Concluindo-se que em 2017 a manutenção foi mais prejudicada.

Desta forma, aplicando o número de falhas e a indisponibilidade em um gráfico de dispersão em escala logarítmica pode se enxergar e classificar as falhas que mais contribuíram para a baixa disponibilidade.

A forma de classificação da falha acontece conforme a sua localização nos quadrantes do diagrama Jack-Knife e assim pode se interpretar como:

- Falhas leves são as localizadas no quadrante inferior esquerdo e correspondem a baixa frequência e baixo tempo de reparo.
- Falhas agudas são as que ficam no quadrante superior esquerdo, são as relacionadas a baixa frequência, mas, a alto tempo de reparo.
- Falhas que estão no quadrante inferior direito são chamadas de crônicas pois possuem alto índice de ocorrência.
- E por fim as falhas agudas e crônicas, situadas no quadrante superior direito, também podem ser chamadas de críticas, pois são as falhas que merecem os estudos e atenção da equipe de manutenção, pois tem alta número de falhas e alto tempo de reparo.

O método que traz uma forma de priorização e gerenciamento das ações da manutenção para atacar as falhas que mais contribuem com a indisponibilidade, consistem na criação de diagramas.

3.2 OBTENÇÃO DO DIAGRAMA JACK-KNIFE

Os diagramas Jack-Knife foram apresentados e desenvolvidos pelo Professor Doutor Peter Knights, em seu artigo *Downtime Priorities, Jack-Knife*

Diagrams, and the Business Cycle, de 2001. Com o objetivo de associar o tipo de falha, o número de falha e o tempo médio de reparo os diagramas Jack-Knife fornecem uma forma, utilizando dispersão logarítmica, de classificar a falha em leve, aguda, crônica e aguda e crônica, conforme a localização no quadrante.

O diagrama somente pode ser obtido com o histórico de manutenção. A confiabilidade do diagrama é a confiabilidade do sistema de informação.

A melhor forma de agrupar seus dados é construindo um histograma contendo as informações, como mostra a tabela 5. Então, será necessário extrair do histórico o tipo da falha ou também pode ser utilizado o sistema ou parte do equipamento. Outra informação importante é o número de falha e o tempo total que a falha afetou a disponibilidade.

Neste ponto o quão mais completo for o histórico da manutenção mais diagramas é possível construir. Caso se tenha o custo que cada falha gerou, pode se plotar o gráfico associando a indisponibilidade versus custo, por exemplo. Outro exemplo de gráfico seria a indisponibilidade versus produção perdida.

Assim, o número de informações que se podem obter com esta correlação de dados é de grande importância na tomada de decisão.

Tabela 5 – Base de dados para obtenção do Diagrama Jack-Knife por falhas.

Código	Tipos de falhas	Quantidade de falhas	Indisponibilidade (t)	MTTR
1	Tipos de falhas 1	x	a	=a/x
2	Tipos de falhas 2	y	b	=b/y
3	Tipos de falhas 3	z	c	=c/z

Fonte: o autor (2018).

Então, para plotar o gráfico, pode ser utilizado vários softwares. Escolhe se o gráfico de dispersão, sendo o eixo das abscissas é a quantidade de falhas e o eixo das ordenadas o MTTR. Seleciona-se também a escala logarítmica na base 10, para os eixos. Após isto insere-se os limites para a criação dos quadrantes.

Desta forma, Knights (2001), conseguiu eliminar as deficiências na análise de Pareto, que nos dias de hoje é muito utilizado, pela Engenharia de Manutenção,

para identificar as falhas responsáveis pelo maior custo da manutenção ou o maior tempo de reparo.

Com a dispersão logarítmica é possível identificar as falhas que mais contribuem para gerar a indisponibilidade, enquanto continuam permitindo a visualização da influência da frequência de falha e do MTTR, conforme Knights (2001).

A separação dos quadrantes é dada pela determinação dos limites. Knights (2001), explica que os limites podem ser dados pela gestão da companhia ou podem ser determinados de acordo com o banco de dados existente do equipamento, utilizando as seguintes equações:

$$\text{Limite}_{\text{MTTR}} = \frac{D}{N} \quad (1)$$

$$\text{Limite}_N = \frac{N}{Q} \quad (2)$$

Onde:

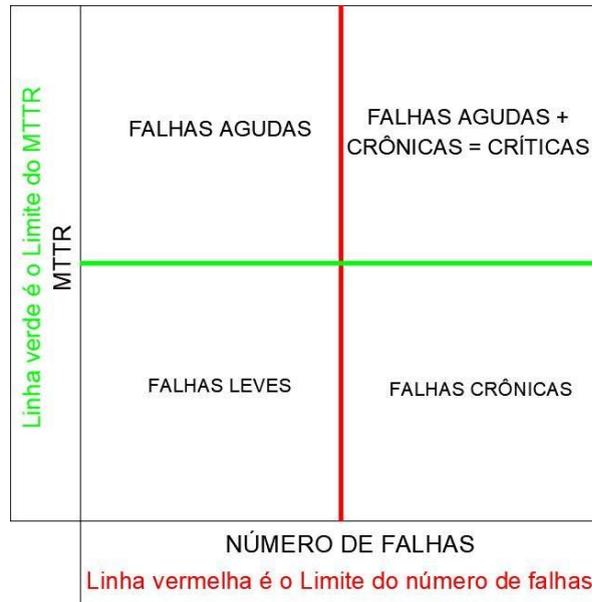
D é a Indisponibilidade;

N é a quantidade de falhas;

Q é a quantidade de falhas distintas.

O gráfico 3 seria uma forma de deixar mais didático o diagrama Jack-Knife e também para explicar que as falhas localizadas acima da linha verde são falhas que afetam a manutenibilidade pois são os maiores tempos de reparos. Já as falhas a direita da linha vermelha são as falhas que afetam a confiabilidade pois são os maiores números de falhas.

Gráfico 3 – Diagrama Jack-Knife sem os pontos de estudo



Fonte: o autor (2018).

Assim pode se aplicar o método Jack-Knife, para uma série de aplicações onde se quer comparar, ou analisar, de uma vez dois parâmetros.

3.3 APLICAÇÕES

Em Knights (2001), propôs este novo método de analisar dados, comparando com diagrama de Pareto, e os aplicou nas falhas elétricas em uma frota de equipamentos Pá Carregadeiras destinado a mineração no Chile. Considerando somente a análise de Pareto não foi possível identificar as reais prioridades de falhas.

Após os dados serem inseridos no diagrama Jack-Knife foi possível visualizar os códigos de falhas de uma nova forma, de modo que há a associação entre a indisponibilidade e a frequência de ocorrência desta mesma falha. Assim se se formou a lista de priorização da manutenção.

Também segundo Knights (2001), foi possível identificar prontamente falhas que afetam a confiabilidade do sistema, disponibilidade e manutenibilidade.

Outra aplicação foi realizada por Potthoff (2010), para otimizar a taxa de produção e a confiabilidade de um sistema de recuperação e descarte de uma mineradora focado no gerenciamento de recursos da manutenção utilizou os

diagramas Jack-Knife para mostrar a priorização para as falhas de subsistemas do equipamento mais importante daquela operação.

Foi possível identificar as falhas mais críticas de cada subsistema do conjunto de correias de transporte de minérios e realizar simulação que ajudariam a manutenção direcionar seus recursos fazendo com que a disponibilidade fosse aumentada em 3%, com a redução da frequência de falha em 50%.

Para Cárdenas (2014), em seu estudo de confiabilidade em uma frota de trator de esteiras pertencente a uma mineradora, utilizou diagramas de Pareto e Jack-Knife para determinar qual parte ou sistema do trator seria o que apresenta maior tempo de reparo e maior frequência.

Após isto analisando somente as falhas deste sistema com uma nova análise dos diagramas Jack-Knife identificou as falhas que mais contribuiriam para a indisponibilidade da frota de tratores. Sendo possível implementar um plano de manutenção preventiva baseado em horas de utilização de cada trator.

Estay (2015), fez os diagramas de dispersão para fornecer a manutenção uma ferramenta de julgamento para priorizar os recursos e ações visando a melhoria dos ativos. Também utilizou os Diagramas Jack-Knife para plotar gráficos de Tempo Médio de Reparo versus Custos, assim sendo possível determinar os eventos geradores de maiores custos globais em uma frota de 8 tratores de aplicação em túneis de minas.

No seu estudo Valenzuela (2016), utilizando um gráfico de Pareto, selecionou três dos equipamentos que mais possuem horas de máquina parada e após isto aplicou os diagramas Jack-Knife para priorizar as ações em eventos que mais influenciam negativamente os indicadores da manutenção.

Assim dos diagramas dos três equipamentos extraiu-se as falhas mais críticas e propôs muitas melhorias gerais como:

- Revisão dos planos de manutenção;
- Revisão de procedimentos operacionais;
- Revisão da gestão de sobressalentes;
- Capacitação da equipe de manutenção;
- Melhorias no projeto dos equipamentos.

Também, além das medidas gerais, medidas específicas foram implantadas e controladas para garantir o melhor funcionamento do processo.

No Chile este método de priorização tornou-se difundido e Gonzalez (2010), utilizou-se da ferramenta Jack-Knife em seu estudo de Cultura de Confiabilidade no La Silla Paranal Observatory para buscar melhoria contínua e também uma forma de manter um alto nível de confiabilidade.

3.4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste exemplo Cárdenas (2014), aplicou o método Jack-Knife para determinar qual o sistema mais crítico dentre a frota de tratores. O Quadro 1 mostra a quantidade de falhas e o MTTR de cada sistema de uma frota de tratores.

Então utilizando as equações 1 e 2 podemos determinar os limites aplicados no diagrama.

A separação dos quadrantes foi obtida pelo cálculo do Limite MTTR é a linha vermelha do gráfico 4 e a linha azul é o Limite N. Com a obtenção dos quadrantes foi determinado a classificação de cada falha.

Quadro 1 – Base de dados da frota de tratores

Código	Sistema	Quantidade de falhas	Tempo total	MTTR
1	Motor	178	948,92	5,33
2	Sistema hidráulico	168	1179,51	7,02
3	Sistema elétrico	127	620,42	4,89
4	Sistemas de trabalho	65	225,71	3,47
5	Sistema de arrefecimento	67	844,51	12,60
6	Sistema de potência	37	348,93	9,43
7	Cabine	33	229,5	6,95
8	Air condicionado	20	53,9	2,70
9	Rodas/Pneus	26	421,23	16,20
10	Estrutura	18	371,09	20,62
11	Falha operacional	9	440,16	48,91
12	Lubrificação	7	3,07	0,44
13	Freios	1	2,23	2,23
Total		756	5689,18	7,53

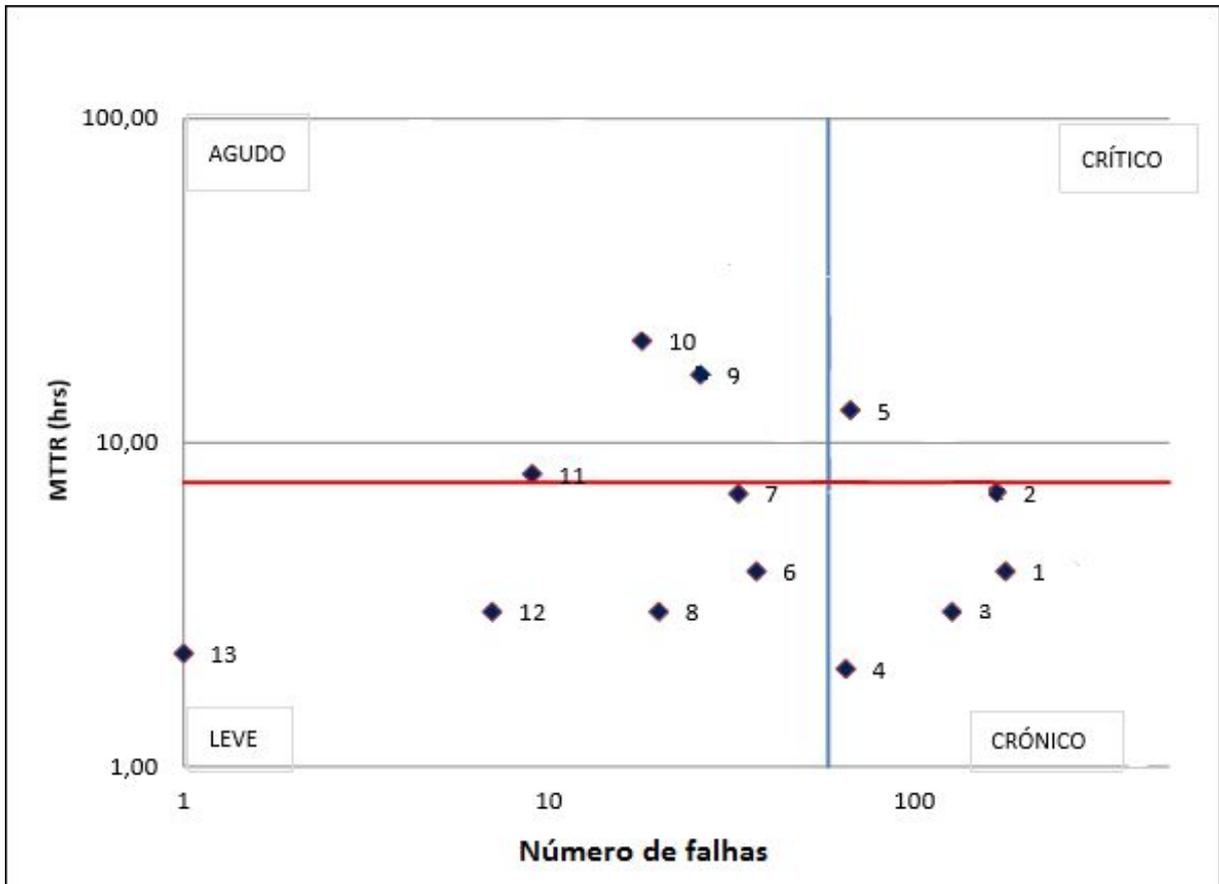
Fonte: modificado de Cárdenas (2014).

Com os dados do quadro 1 é possível calcular os limites, obtidos pelas equações 1 e 2. Estes são os valores que separam os quadrantes no diagrama Jack-Knife. A linha vermelha no gráfico 4 é representada pelo Limite MTTR e a linha azul pelo Limite de número de falhas.

$$\text{Limite}_{\text{MTTR}} = \frac{D}{N} = \frac{5689,18}{756} = 7,53$$

$$\text{Limite}_N = \frac{N}{Q} = \frac{756}{13} = 58,15$$

Gráfico 4 – Diagrama Jack-Knife para os sistemas dos equipamentos



Fonte: modificado de Cárdenas (2014).

Após a análise dos sistemas do equipamento Cárdenas (2014), aplicou novamente o método Jack-Knife em um dos sistemas que teve o maior número de falhas que foram os motores dos equipamentos. Estas falhas estão no quadrante crônico do diagrama e afetam a confiabilidade dos equipamentos. O histórico de falhas do motor está no quadro 2.

$$\text{Limite}_{\text{MTR}} = \frac{D}{N} = \frac{948,92}{178} = 5,33$$

$$\text{Limite}_N = \frac{N}{Q} = \frac{178}{20} = 8,9$$

Quadro 2 – Base de dados para os motores da frota

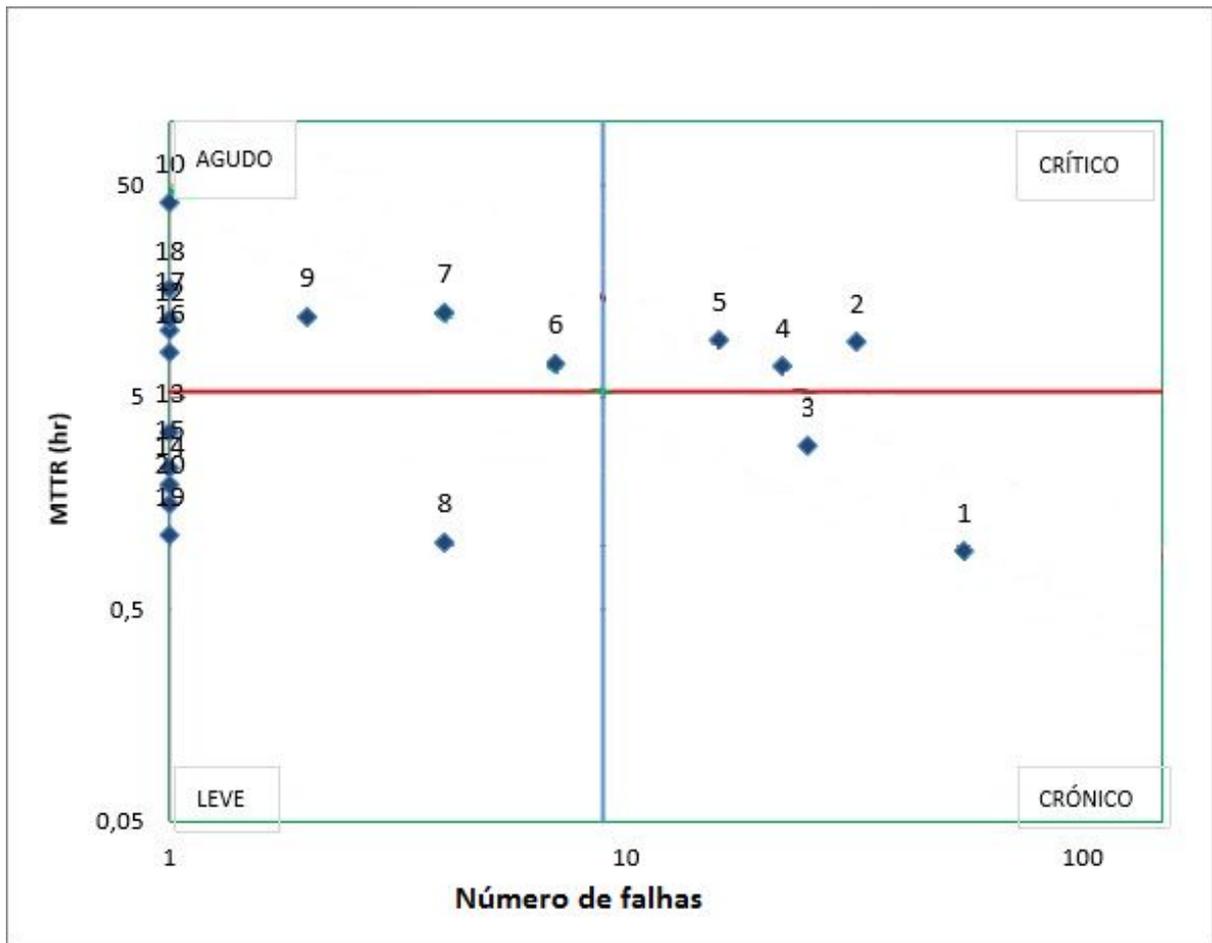
Código	Sistema	Quantidade de falhas	Tempo total	MTT R
1	Filtro de ar	55	51,8	0,94
2	Baixa potência	32	292,67	9,15
3	Enchimento de óleo no motor	25	74	2,96
4	Problema na exaustão	22	154,65	7,03
5	Partida	16	149,1	9,32
6	Vazamento de combustível	7	50,34	7,19
7	Temperatura	4	50,04	12,51
8	Desligamento do motor	4	4,14	1,04
9	Código ativo	2	23,94	11,97
10	Tanque de combustível	1	41,46	41,46
11	Filtração do decantador de água	1	0,01	0,01
12	Fumaça no radiador	1	10,36	10,36
13	Sensor de temperatura do motor	1	3,42	3,42
14	Tampa de óleo	1	1,94	1,94
15	Admissão do motor	1	2,33	2,33
16	Alternador	1	8,13	8,13
17	Entrada de material particulado	1	11,66	11,66
18	Falha no turbo	1	16,24	16,24
19	Parafusos da cobertura do motor	1	1,12	1,12
20	Calibração	1	1,57	1,57
Total		178	948,92	5,33

Fonte: modificado de Cárdenas (2014).

Então, após o cálculo dos limites as linhas que formam os quadrantes foram inseridas no gráfico 5, o qual, Cárdenas (2014) aplicou o método Jack-Knife para determinar as falhas mais crônicas. Fez uma análise combinada com Pareto sendo possível determinar que o modo de falha número 1, que é relativo ao filtro de ar, afeta diretamente a confiabilidade dos equipamentos pelo seu alto número de ocorrência.

A falha número 2 está no quadrante de falhas críticas que seria a baixa potência do motor e segundo Cárdenas (2014) as falhas 1 e 2 estão relacionadas pois a saturação do filtro impede que o ar possa ser bombeado suficiente para injetar nas câmaras de combustão do motor.

Gráfico 5 – Diagrama Jack-Knife para as falhas dos motores dos equipamentos



Fonte: modificado de Cárdenas (2014).

Estas falhas comuns podem ser muito danosas para os equipamentos e após classificação, Cárdenas (2014), fez uma Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) e propôs a implantação de uma manutenção preventiva de troca de filtro para aumentar a disponibilidade do equipamento.

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi mostrado um referencial teórico do surgimento deste método de identificação de falhas em forma de priorização. Foi mostrado a forma de se obter o diagrama e as informações necessárias para sua criação.

Foi sugerido que a utilização de duas variáveis à escolha da manutenção, e conforme seu histórico, pode prover muitas ferramentas gerenciais úteis em tomadas de decisão.

Alguns estudos onde o método Jack-Knife foi empregado e auxiliou a manutenção nos processos da gestão de ativos trazendo melhorias, redução de custo e melhor alocação dos recursos.

E de forma mais detalhada foi mostrado um estudo que utilizou o método Jack-Knife para determinar qual o sistema era o mais crônico do equipamento. Após isto, uma nova análise foi realizada com as falhas do sistema mais crônico. Trazendo a informação qual era a falha que mais contribuía com a indisponibilidade do equipamento, possibilitando ações de melhoria pontuais e direcionadas.

Para o próximo capítulo será aplicado o método de classificação de falhas Jack-Knife para obter quais as falhas foram críticas, ao longo da vida, na mandrilhadora. Por fim a sugestão de melhorias para a manutenção.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Através do sistema que gerencia e contém o histórico da manutenção é possível extrair todas as ações que o equipamento recebeu em sua vida. Para este estudo o foco foi as manutenções que geraram indisponibilidade.

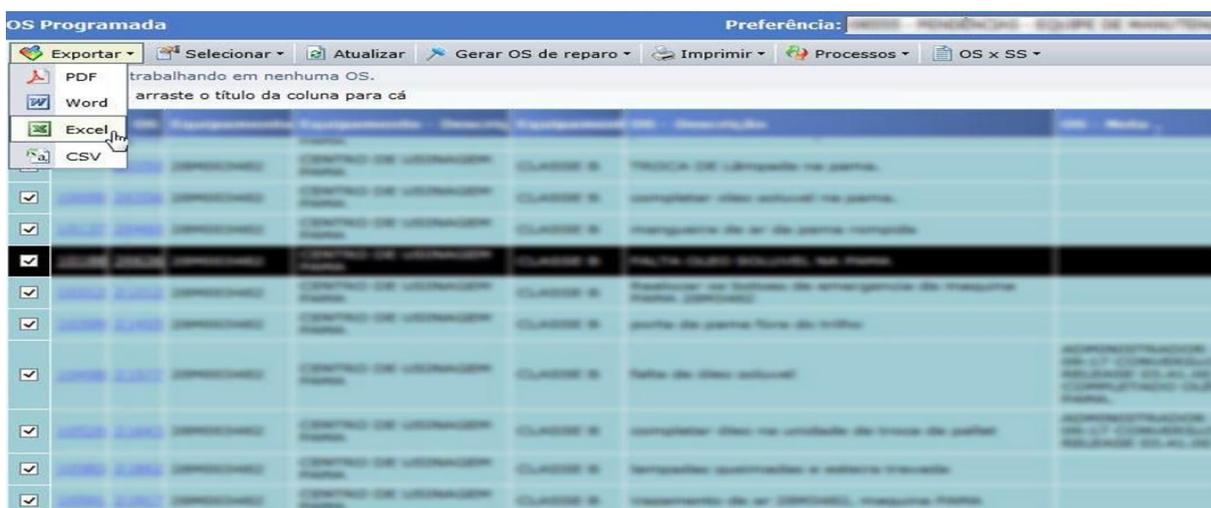
Para extrair estes dados acessamos o programa e no menu da direita clicamos em execução e após isto vamos em OS Programada, conforme é mostrado na Figura 3. Após esta etapa, na barra de ferramentas clica em Selecionar e após abrir o menu clica em Filtro, conforme a Figura 4.

Figura 3 – Sistema de Gerenciamento de Manutenção, menu principal

Fonte: o autor (2018).

Com o código do equipamento e as modalidades de manutenção como CPLA (Corretiva Planejada) e CNPL (Corretiva Não Planejada) processa o filtro, gerando o relatório necessário para o estudo. É possível exportar os dados em vários formatos, como mostra a Figura 5, para facilitar o tratamento dos dados o relatório foi exportado em planilha.

Figura 5 – Sistema de Gerenciamento de Manutenção, exportar dados



Fonte: o autor (2018).

Como as falhas, muitas vezes, não continham uma descrição objetiva e clara, com a ajuda da manutenção foi realizado um agrupamento das 83 falhas ocorridas em quase cinco anos e meio de utilização do equipamento. Ficando em 18 tipos de falhas diferentes. Conforme mostrado no quadro 3.

Quadro 3 – Falhas da mandrilhadora

Código da falha	Descrição	Quantidade de falhas	Indisponibilidade e(h)	MTTR (h)
1	Baixa pressão de ar	5	7,08	1,416
2	Baixo nível de óleo de corte	9	8,97	0,997
3	Falha barreira de segurança	3	2,37	0,790
4	Falha elétrica	7	16,28	2,326

5	Falha no painel de comando	1	8	8,000
6	Falha em sensores	2	2,94	1,470
7	Falha no controlador de temperatura de óleo	2	0,9	0,450
8	Falha no sistema de contrapeso	2	22,67	11,335
9	Falha no sistema hidráulico	8	66,09	8,261
10	Falha sistema de lubrificação automático	1	0,65	0,650
11	Falha trocador de ferramenta	8	10,59	1,324
12	Filtro saturado	3	2,62	0,873
13	Obstrução por cavaco	8	13,77	1,721
14	Perda de referência dos eixos	8	21,37	2,671
15	Porta fora do trilho	2	23,83	11,915
16	Rompimento de cabo de comando	6	19,29	3,215
17	Rompimento de correia	6	99,12	16,520
18	Rompimento de mangueira	2	2,18	1,090
	Total	83	328,72	

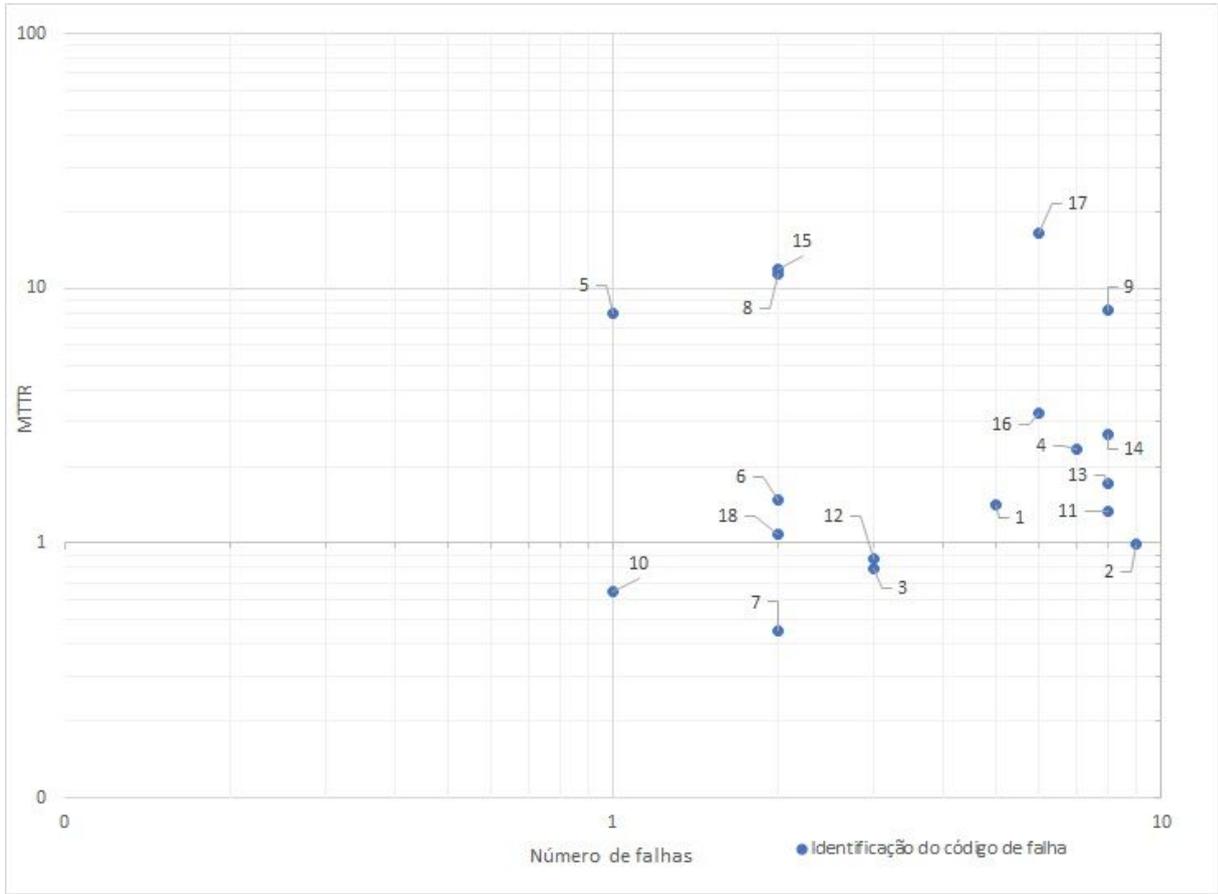
Fonte: o autor (2018).

Com a obtenção do quadro 3 é possível construir o diagrama Jack-Knife e visualizar em qual quadrante cada falha está localizada. Mais uma vez o histórico da manutenção se mostra importante para aplicação de um novo método para categorizar cada falha que o equipamento e o time da manutenção já passaram.

4.2 APLICAÇÃO DO METODO JACK-KNIFE

Para aplicar o método Jack-Knife utiliza-se de um gráfico de dispersão, com os eixos em escala logarítmica, no qual o eixo das abscissas é selecionado a quantidade de falha que cada manutenção teve e no eixo das ordenas é selecionado o MTTR, como é mostrado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Diagrama Jack-Knife para a Mandrilhadora



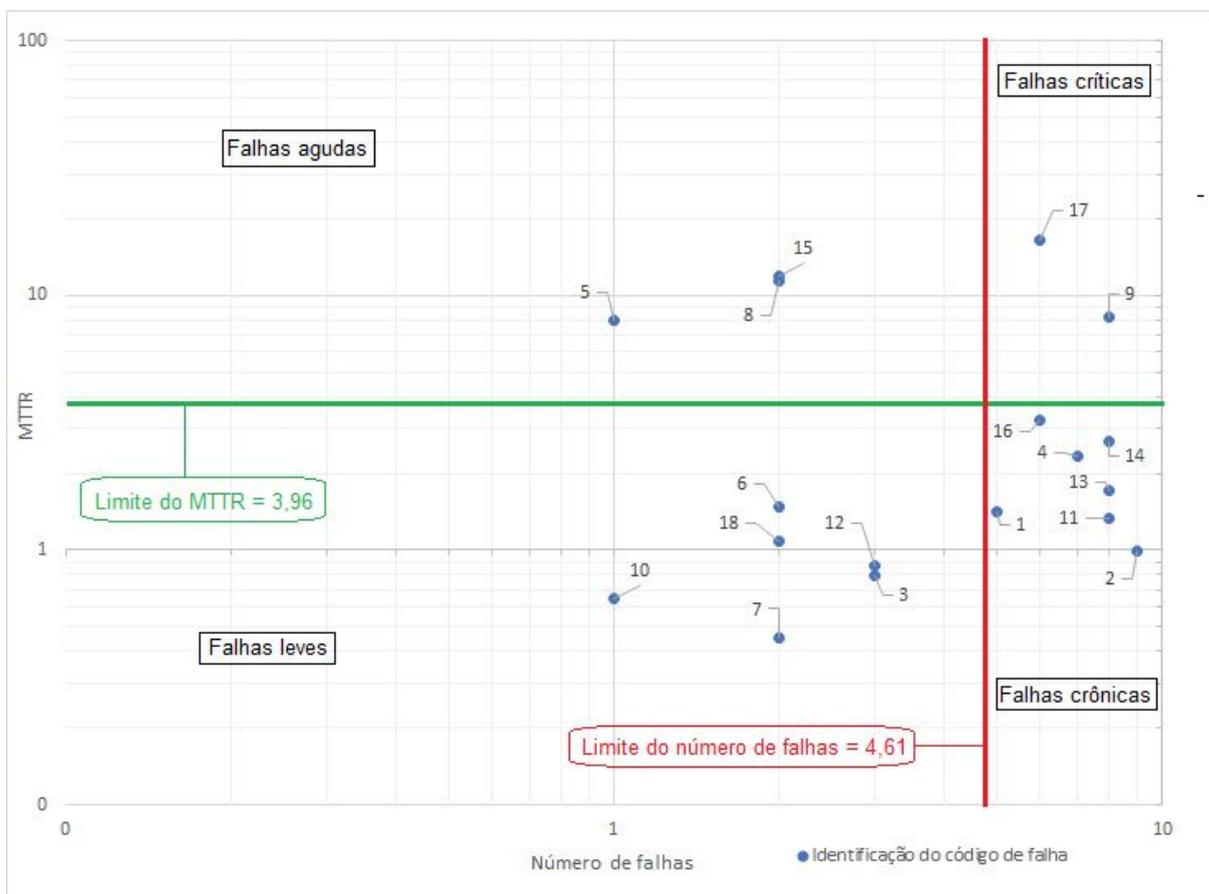
Fonte: o autor (2018).

Mas, somente o gráfico 6 não traz a informação da localização das falhas nos quadrantes. Para inserir os quadrantes, foi seguido a proposta em Knights (2001). No qual a separação é obtida por meio das equações 1 e 2 fornecendo os limites horizontais e verticais. A seguir calculados:

$$\text{Limite}_{\text{MTTR}} = \frac{D}{N} = \frac{328,72}{83} = 3,96$$

$$\text{Limite}_N = \frac{N}{Q} = \frac{83}{18} = 4,61$$

Gráfico 7 – Diagrama Jack-Knife para a Mandrilhadora com os quadrantes



Fonte: o autor (2018).

Desta forma obtém-se as falhas que mais comprometeram a disponibilidade do equipamento, conforme o Quadro 4 Elas representam um alto tempo de reparo e uma grande quantidade repetida de falha. As falhas críticas são:

- Rompimento da correia;
- Falha do sistema hidráulico.

Quadro 4 – Localização das falhas

Categorização das falhas	Código da falha	Descrição	Quantidade de falhas	Indisponibilidade e (h)	MTTR (h)
Críticas	17	Rompimento de correia	7	99,12	16,52
	9	Falha no sistema hidráulico	8	66,09	8,261
Agudas	15	Porta fora do trilho	2	23,83	11,915
	8	Falha no sistema de contrapeso	2	22,67	11,335

	5	Falha no painel de comando	1	8	8,000
Crônicas	16	Rompimento de cabo de comando	6	19,29	3,215
	14	Perda de referência dos eixos	8	21,37	2,671
	4	Falha elétrica	7	16,28	2,326
	13	Obstrução por cavaco	8	13,77	1,721
	1	Baixa pressão de ar	5	7,08	1,416
	11	Falha trocador de ferramenta	8	10,59	1,324
	2	Baixo nível de óleo de corte	9	8,97	0,997
Leves	6	Falha em sensores	2	2,94	1,470
	18	Rompimento de mangueira	2	2,18	1,090
	12	Filtro saturado	3	2,62	0,873
	3	Falha barreira de segurança	3	2,37	0,790
	10	Falha sistema de lubrificação automático	1	0,65	0,650
	7	Falha no controlador de temperatura de óleo	2	0,9	0,450

Fonte: o autor (2018).

Para corroborar com o diagrama Jack-Knife, estas falhas, juntas, somam 50% da indisponibilidade do equipamento, demonstrando realmente são falhas críticas.

No diagrama também chama a atenção as falhas agudas como a porta fora do trilho e falha no sistema de contrapeso, que possuem um tempo de reparo considerável, mas uma baixa repetitividade de falha.

A falha crônica, baixo nível de óleo de corte, por sua vez tem a maior repetição de falha e um tempo de reparo baixo, mas ao longo do tempo já contribuiu com uma indisponibilidade de quase 9 horas. Este tempo representa pouco mais que um turno de trabalho, quando se contabiliza a somatória, fica evidente que as perdas são significativas também.

Ao se analisar como um todo o diagrama fornece muitas informações gerenciais para a manutenção e uma maneira estruturada para priorizar as ações e minimizar o impacto das falhas no equipamento.

4.3 VERIFICAÇÕES DOS PLANOS PREVENTIVOS

A proposta deste trabalho é aplicar o Metodo Jack-Knife para identificar as falhas críticas e verificar o que o fabricante do equipamento recomenda em manutenções preventivas.

Ao chegar nesta etapa do trabalho verificou que as mais de 400 páginas do Manual de Manutenção não trazem a informação de que ações preventivas são necessárias e qual a frequência de manutenção o equipamento deveria receber. Mas, por sua vez, o manual, tem procedimentos de manutenção muito bem detalhados para realizar a manutenção de todos os sistemas que compõem a máquina.

Então, buscando quais ações preventivas que a manutenção inseriu no programa de gerenciamento para as duas falhas críticas e comparando com as horas de produção ao longo da vida do equipamento. É possível obter o tempo médio entre as falhas e verificar se a frequência que manutenção estipulou está adequado.

Para esta comparação precisamos das horas programadas para a utilização deste equipamento. Na Tabela 6, temos as horas já considerando dias uteis e turnos de trabalho dentro do período de estudo.

Tabela 6 – Horas programadas para o equipamento

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018 (Janeiro-Maio)	Total
Horas programadas	349	466	301	234	201	854	1639
	1	7	9	8	5		4

Fonte: o autor (2018).

Com as horas totais que o equipamento foi programado para operar e a quantidade de falhas, chegamos no MTBF para cada falha. Conforme mostra a Tabela 7, para o rompimento da correia temos 266 dias para ocorrer uma falha e para o sistema hidráulico temos 233 dias para ocorrer uma falha. Esta informação de dias sem falha é dinâmica, pois conforme pode se exigir um aumento de turno de

trabalho, estes dias sem falhas, diminuem proporcionalmente. Portanto, como recomendação o importante é controlar o melhor momento para a realização da preventiva pelo horímetro da máquina.

Tabela 7 – Tempo médio entre as falhas críticas

Falha	Rompimento da correia	Falha no sistema hidráulico
Quantidade de Falhas	7	8
Tempo de operação (h)	16394,0	16394,0
Tempo médio entre falhas (h)	2342,0	2049,3
Horas de 1 turno programado	8,8	8,8
Tempo médio entre falhas (dias úteis)	266	233

Fonte: o autor (2018).

Como o porte do equipamento é grande e estes sistemas são complexos, os planos preventivos tem ações parceladas para cumprir o estabelecido pelo planejamento.

No caso das manutenções preventivas para o sistema hidráulico são realizadas inspeções duas vezes ao ano e em cada inspeção é avaliado a necessidade de troca de algum componente.

As ações preventivas do sistema de movimentação que utiliza correia dentada pedem duas intervenções por ano. A primeira é de verificação e a segunda é de substituição. Então, uma vez por ano a correia é substituída. Esta frequência de substituição não foi fornecida pelo fabricante do equipamento e sim pelo fabricante da correia, que detém o conhecimento de via útil de seu produto.

Os demais sistemas também são varridos 2 vezes ao ano para garantir a disponibilidade do equipamento, evidenciado pela baixa ocorrência de falhas conforme mostrado nos Gráficos 1 e 2.

Com a informação da Tabela 6 de horas totais de uso programado do equipamento é possível calcular a indisponibilidade do equipamento devido à falta de manutenção apenas dividindo as horas em falha pelas horas totais. E chega-se num percentual de 2% muito inferior à média nacional vista na Tabela 2.

A baixa indisponibilidade é se deve também ao fato das ações preventivas estarem sendo efetivas evidenciadas, apenas pela quantidade, na Tabela 4.

4.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O capítulo 4 mostrou como é possível extrair os dados do sistema de gerenciamento de manutenção e como foi agrupado as 83 falhas que foram fonte de indisponibilidade para aplicar o método Jack-Knife.

Ao aplicar o método Jack-Knife identificou-se 2 falhas críticas do equipamento que representaram mais de 50% da indisponibilidade total do equipamento. As falhas foram categorizadas em Leves, Agudas, Crônicas e Críticas.

Também foi verificado o MTBF para as falhas críticas e comparado com a frequência de manutenção. Foi mostrado a indisponibilidade proveniente de falta de manutenção e comparado como o Documento Nacional da Abraman.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método Jack-Knife pode ser uma grande ferramenta para auxiliar a manutenção na tomada de decisão, pois os diagramas que separam as falhas em quadrante são de fácil construção e analisam as falhas já ocorridas para evita-las novamente no futuro.

Quando exposto no diagrama, as mais diversas falhas, tornam-se claras. Constando que mesmo falhas que tenham um tempo de reparo pequeno, muitas vezes deixadas de lado, podem contribuir com uma indisponibilidade significativa. Estas falhas que são chamadas de crônicas, podem representar uma parcela significativa de indisponibilidade e muitas vezes são fáceis de se resolver definitivamente.

Esta análise só é possível quando se compara ao mesmo tempo dois fatores distintos, neste caso o MTTR e a quantidade de falhas.

O método Jack-Knife conseguiu mostrar deficiências no processo de manutenção mesmo em um equipamento que possui alta disponibilidade. Ajudando a evidenciar e endereçar as ações de forma mais adequadas para melhorar ainda mais a disponibilidade do equipamento.

Durante o trabalho foram encontradas algumas dificuldades como o fato de haver pouco conteúdo bibliográfico sobre o assunto, sendo necessário a busca em outros idiomas para se conseguir obter um mínimo de fontes para a pesquisa e entendimento do método.

Outro ponto que necessita ser repensado é com relação a falta de padronização no momento de inserir dados no sistema de gerenciamento de manutenção, pois em muitas vezes, não estava claro qual falha ocorreu, pois somente havia texto da solução dada. Então, as falhas que geraram dúvidas, em seus apontamentos, foram esclarecidas com o planejamento de manutenção.

Uma outra dificuldade foi quando havia uma manutenção corretiva que era responsabilidade da equipe da Mecânica, por exemplo, a a equipe de Eletricistas, aproveitando o tempo disponível para fazer alguma atividade no equipamento. Também apontava as horas como corretiva, no mesmo momento e o sistema de gerenciamento não tem recurso suficiente para gerar algum alerta ou alarme

informando que já estava sendo contabilizado indisponibilidade naquele período e não poderia ocorrer indisponibilidade novamente. A consequência disso é que se solicitar um relatório, de ordens de serviços corretivos, somente com os tempos e hora de abertura e de fechamento. Os tempos se somavam mostrando uma informação que prejudica a reputação da manutenção.

Então, para contabilizar as horas exatas de indisponibilidade, após serem exportadas todas as ações corretivas. As ordens de serviço foram verificadas uma a uma conferindo a data e hora de início e data e hora de fechamento para que não houvesse nenhuma sobreposição de tempos e fosse contabilizado um tempo inexato de indisponibilidade.

Não foi possível analisar os planos preventivos indicados pelo fabricante, pois em seu manual não constam estas informações e o planejamento de manutenção faz as manutenções preventivas de substituição de componentes buscando informações de vida útil diretamente com o fabricante, como no caso da correia dentada que foi uma das falhas críticas apontadas, assim como falhas no sistema hidráulico. Determinadas como resultado deste estudo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma indicação para um futuro trabalho seria, com esta base de dados já pronta, aplicar os conceitos de Engenharia de Confiabilidade, para alcançar um novo patamar de confiabilidade do equipamento aliado ao custo de se manter esta confiabilidade do ativo.

Outro trabalho seria realizar um comparativo mostrando que práticas de manutenção são seguidas em duas diferentes plantas da companhia que possuem o mesmo equipamento e utilizam-se do mesmo sistema de banco de dados.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR5462. **Confiabilidade e manutenibilidade**. 1994.

ABRAMAM – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. **Documento Nacional de 2013**. 28º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, Salvador – BA, Setembro de 2013.

CARDENAS, Alexander Jara. **Estudio de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad Acorde al Sistema Asset Management Aplicado a la Flota de Bulldozer CAT D10T, Minera Anglo American Operación Mantoverde**. Universidad Del Bio-Bio, Chile – Concepcion, 2014.

CRUZ, E. Hernández, e PÉRAZ, E. Navarrete. **Sistema de cálculo de indicadores para El Mantenimiento**. Disponível em <<http://www.mantenimientomundial.com>>. link Notas de Interesse. Acesso em 02/01/2018.

DORIGO, Luiz Carlos Ferreira; Xavier, Julio de Aquino Nascif. **Manutenção Orientada para Resultados**. Editora Qualitymark , Primeira Reimpressão 2013.

ESTAY, José Luis Rivera. **Modelo de Toma de Decisiones de Mantenimiento para Evaluar Impactos en Disponibilidad, Mantenibilidad, Confiabilidad y Costo**. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile – Santiago, 2015.

GONZALEZ, Sergio. **Reliability Culture at La Silla Paranal Observatory**. Proceedings of the SPIE, Volume 7737. 07/2010.

KARDEC, Alan; et al. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Editora Qualitymark, Primeira Reimpressão 2007.

KARDEC, Alan; Xavier, Julio de Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica**. Editora Qualitymark, Terceira edição 2010.

KNIGHTS, Peter F. **Downtime Priorities, Jack-Knife Diagrams, and the Business Cycle**. Maintenance Journal. V. 17, p. 14 - 21, 2001.

NAGAO, Sergio Kimimassa. **Manutenção Industrial – Análise, diagnóstico e propostas de melhoria de performance em indústrias de processo**. Trabalho apresentado no 14º Congresso Brasileiro de Manutenção, Foz do Iguaçu, 1999.

POTTHOF, Rodrigo Eduardo Madariaga. **Simulación y Optimizacion del Sistema de Manejo de Mineral Ripio en una Faena Minera**. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile – Santiago, 2010.

RODRIGUES, Marcelo. **Manutenção industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: um diagnóstico atual**. Dissertação de Mestrado, programa de

Pós-Graduação em Tecnologia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR. Curitiba, 2003.

SEIXAS, Eduardo de Santana, **Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**, Apostila do Curso de Especialização em Gerência de Manutenção, oferecido pelo Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da UTFPR (Universidade Tecnológica do Paraná), Março de 2008.

VALENZUELA, Matías Patricio Díaz. **Análisis de Datos em Servicio de Confiabilidad Prestado a una Planta de Remoción de Ripios**. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile – Valparaiso, 2016.