

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GUSTAVO RODRIGUES TEIXEIRA CLEMENTINO

ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO NO MIT

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

GUSTAVO RODRIGUES TEIXEIRA CLEMENTINO

ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO NO MIT

Projeto apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Goedel.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo Rodrigues Teixeira Clementino

Análise e otimização do tipo de manutenção no MIT

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 17:00hs do dia 17/11/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Alessandro Goedel - Presidente (Orientador)

Engenheiro(a) Ericsson Bernardino - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Marcos Banheti Rabello Vallim - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

A minha família, que sempre me apoiou e confiou em mim, sendo o alicerce de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que tem colocado em minha vida, me guiando e me tornando mais forte frente às dificuldades.

Agradeço a minha família como um todo e em especial ao meu avô João Rodrigues Teixeira, a minha avó Adeni Rodrigues Teixeira, a minha mãe Luciana Rodrigues Teixeira e a minha tia Daniela Rodrigues Teixeira, pela criação que me foi dada, baseada no amor, respeito e confiança, pelos exemplos que levo comigo e por estarem sempre presentes em todos os momentos.

Agradeço a meus amigos por todos os momentos que passaram comigo durante a graduação, os quais eu considero como uma segunda família, em especial a todos os irmãos da república LPK.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que através de todo seu corpo docente e estrutura proporcionou um grande avanço na minha formação técnica e pessoal.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Alessandro Goedtel, por todos os anos de convivência e ensinamentos fornecidos, os quais colaboraram de forma fundamental na minha formação.

Agradeço a Cia. Iguaçu pela grande oportunidade, essa através de seus colaboradores e estrutura permitiu a realização deste trabalho, fortalecendo o laço entre universidade e indústria, o qual é fundamental para o desenvolvimento de novos procedimentos e tecnologias, além de complementar a minha formação como engenheiro, permitindo-me ter contato com o dia a dia da indústria.

Agradeço ao apoio da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná (Processo N° 06/56093-3) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo N°474290/2008-5, 473576/2011-2, 552269/2011-5) e pela bolsa de iniciação científica.

Todos os seres vivos tremem diante da violência. Todos temem a morte. Todos amam a vida. Projete você mesmo em todas as criaturas. Então, a quem poderá ferir? Que mal poderá fazer? (Buda).

Não vá para onde o caminho o leva. Vá, pelo contrário, por onde não há um caminho e deixe uma trilha. (Ralph Waldo Emerson).

RESUMO

CLEMENTINO, Gustavo Rodrigues Teixeira. **Análise e otimização da manutenção no MIT**. 2016. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Feral do Paraná. Cornélio Procópio, 2016

Este trabalho apresenta uma ferramenta que permite a análise e a otimização da manutenção em MITs (motores elétricos de indução trifásicos). Implementou-se a ferramenta em uma interface gráfica, utilizando técnicas de classificação de criticidade de equipamentos e indicadores de manutenção. Realizou-se aquisição de dados reais em um estudo de caso na indústria, para validação da ferramenta. Tem-se como resultado uma análise detalhada, feita de forma global e individual nos MITs, levando em conta dados de funcionamento, manutenção e custos, além de propor uma mudança na técnica de manutenção utilizada, naqueles que a análise indica que a mesma não esta satisfatória.

Palavras-chave: Manutenção. Motor de indução trifásico. Indicadores de manutenção. Classificação de criticidade.

ABSTRACT

CLEMENTINO, Gustavo Rodrigues Teixeira. **Analysis and optimization of maintenance in the MIT**. 2016. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Feral do Paraná. Cornélio Procópio, 2016

This paper presents a tool that provides an analysis and optimization of maintenance in the MITs (electric motors of induction). The tool was implemented in a graphical interface, using criticality classification techniques and maintenance indicators. Was held acquisition of real data (case study) in the industry. The result was a global analysis and a specifies to each MITs, based in operating data and maintenance costs, it was also proposed a change in the maintenance technique, in those that analysis indicates that the technique is not satisfactory.

Keywords: Maintenance. Induction motor. Maintenance indicators. Criticality Classification.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Percentual de investimento anual por tipo de manutenção de forma gráfica.....	16
Figura 2 – Percentual de investimento anual por tipo de manutenção em forma de tabela.....	17
Figura 3 – Relação entre práticas de manutenção normais e práticas-modelo.....	18
Figura 4 – Comparativo percentual da ocorrência de falhas em MIT	25
Figura 5 – Interface de classificação de criticidade (planilha MIT)	46
Figura 6 – Interface para análise dos indicadores na análise 1 e análise 2 (planilha MIT).....	47
Figura 7 – Análise geral da situação da manutenção (planilha Geral) ..	48
Figura 8 – Análise geral dos indicadores (planilha Geral)	49
Figura 9 – Definição dos períodos de análise e tipo de demanda (planilha Geral)	50
Figura 10 – Gráfico geral (planilha Geral).....	50
Figura 11 – Resultado hipotético de manutenção indicada na Análise 1 e Análise 2 (planilha Geral)	51
Figura 12 – Custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	52
Figura 13 – Custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	52
Figura 14 – CM MIT/Total na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	53
Figura 15 – CMPF na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	53
Figura 16 – Gráfico de custo da manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	54
Figura 17 – Gráfico da relação entre CM MIT e CM Geral na Análise 1 (planilha Custo)	54

Figura 18 – Tabela de registro dos motores do Aglomerador 1.....	59
Figura 19 – Resultado da análise geral da situação da manutenção (planilha Geral)	62
Figura 20 – Resultado da análise geral dos indicadores (planilha Geral)	63
Figura 21 – Definição dos períodos de análise e resultado do tipo de demanda (planilha Geral)	63
Figura 22 – Resultado do gráfico geral (planilha Geral)	64
Figura 23 – Resultado de manutenção indicada na Análise 1 e Análise 2 (planilha Geral)	65
Figura 24 – Resultado da classificação de criticidade (planilha MIT - 850190)	66
Figura 25 – Resultado da análise dos indicadores na análise 1 e análise 2 (planilha MIT - 850190).....	67
Figura 26 – Resultado do custo total com manutenção proporcional ao Aglomerador 1, na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo).....	68
Figura 27 – Resultado do custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo).....	69
Figura 28 – Resultado do CM MIT/Total na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	69
Figura 29 – Resultado do CMPF na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo).....	69
Figura 30 – Resultado do gráfico de custo da manutenção proporcional ao Aglomerador 1 na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo).....	70
Figura 31 – Resultado do gráfico da relação entre CM MIT e CM Geral na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de criticidade.....	30
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Abraman	Associação brasileira de manutenção.
CM	Custo de manutenção.
CME	Custo de manutenção do equipamento
CMEA	Custo de manutenção acumulado do equipamento
CMPF	Custo de manutenção por faturamento.
CMVP	Custo de manutenção por valor de reposição.
CTM	Custo total de manutenção.
DF	Disponibilidade física.
EM	Eficiência da manutenção
FE	Faturamento da empresa.
HD	Horas disponíveis.
HG	Horas totais no período.
Hh	Hora homem.
HIM	Horas de indisponibilidade devido à manutenção.
HMP	Horas planejadas de manutenção
HT	Horas trabalhadas.
MIT	Motor de indução trifásico.
NC	Número de corretivas.
NPR	Número de prioridade do risco.
NI	Número de intervenções de manutenção.
SMS	Segurança, meio ambiente e saúde.
TFA	Taxa de frequência de acidentes.
TGA	Taxa de gravidade de acidentes.
TMEF	Tempo médio entre falhas.
TMPF	Tempo médio para falhar.
VC	Valor de compra.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 MOTIVAÇÃO.....	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 METODOLOGIA	19
2. ASPECTOS GERAIS DA MANUTENÇÃO	21
2.1 TERMOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO.....	22
2.1.1 Disponibilidade	22
2.1.2 Confiabilidade.....	22
2.1.3 Custo de manutenção	23
2.1.4 Segurança.....	23
3. MANUTENÇÃO NO MIT	24
3.1 FALHAS NO MIT.....	24
3.2 TECNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA NO MIT	25
3.2.1 Análise de vibrações	26
3.2.2 Termometria.....	27
4. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE MANUTENÇÃO	29
4.1 CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE.....	29
4.2 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	31
4.2.1 Indicadores de classe mundial	31
4.2.2 Outros indicadores	35
5. APLICAÇÃO DA ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO.....	37
5.1 ANÁLISE DO MIT	37
5.2 ANÁLISE GERAL.....	39
5.2.1 Definição da manutenção indicada e otimização	39

5.3	ANÁLISE DE CUSTOS	40
5.3.1	Custo global de manutenção.....	41
5.3.2	Custo de manutenção nos MIT	41
6.	PROPOSTA, INTERFACE GRÁFICA E COMUNICAÇÃO	43
6.1	PROPOSTA	43
6.2	INTERFACE GRÁFICA E COMUNICAÇÃO	43
6.2.1	Modo de operação	44
6.2.2	MIT	45
6.2.3	Geral	48
6.2.4	Custo.....	51
7.	ESTUDO DE CASO.....	56
7.1	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	57
7.1.1	Aquisição física de dados.....	58
7.1.2	Aquisição virtual de dados	60
7.1.3	Aquisição especializada de dados	61
7.2	RESULTADOS GERADOS	61
7.2.1	Resultados gerais.....	61
7.2.2	Resultados dos MITs.....	66
7.2.3	Resultados de custos	68
8.	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1. INTRODUÇÃO

Os motores de indução trifásicos (MIT) desempenham o papel de transformar a energia elétrica em energia mecânica, eles são amplamente usados na indústria. Sabe-se que no Brasil, aproximadamente 46% da energia elétrica consumida é usada pelo setor industrial e 70% desse uso é devido a esses motores, isso tendo como base o ano de 2008 e 2009 (BARROS, 2011).

A manutenção realizada de forma adequada, aliada a uma boa instalação e operação, permite equipamento possa operar de forma satisfatória, ou seja, sem falhas durante um determinado período de tempo.

As práticas de manutenção em motores elétricos são: corretiva, preventiva e preditiva. A seguir tem-se uma breve explanação a respeito de cada uma delas (KARDEC, JOUBERT e SEIXAS, 2002):

- **Manutenção corretiva:** é desempenhada para restabelecer um item ou equipamento para uma condição satisfatória, através da correção de um mau funcionamento ou estado. A sua utilização é comum em equipamentos de baixo valor e que não influenciam na produção.
- **Manutenção preventiva:** este tipo de manutenção, é realizada para manter um equipamento em condições satisfatórias de operação, através de inspeções sistemáticas, ou seja, com intervalos de tempo fixados. Esse tipo de manutenção planejada oferece uma série de vantagens para uma indústria, quando comparada com a corretiva, utilizada normalmente em equipamentos que afetam a qualidade final de um produto, segurança e o meio ambiente. A mesma é baseada em uma interpretação histórica de dados.
- **Manutenção preditiva** é definida como um serviço executado através do acompanhamento de parâmetros, que permitam avaliar o risco de falha de um equipamento e planejar intervenções, sua utilização é destinada a equipamentos que afetam a qualidade final do produto, os recursos financeiros, segurança e meio ambiente.

1.1 MOTIVAÇÃO

A aplicação de recursos de manutenção no Brasil tem uma parcela pequena em manutenção preditiva, segundo a Abraman – Associação Brasileira de Manutenção. Tal afirmação pode ser observada na Figura 1 e Figura 2, além disso, é visível que o maior recurso é destinado à manutenção preditiva, entre 1995 e 2013. Ambas as figuras são apresentadas no documento nacional de 2013 da Abraman, no 28º Congresso Brasileiro de Manutenção.

A Figura 1 e a Figura 2 apresentam a relação percentual de valores de investimento em manutenção nas técnicas empregadas na indústria. A Figura 2 apresenta um complemento ao gráfico da Figura 1, mostrando a relação entre Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho), na forma de tabela, sendo possível analisar os valores de forma mais clara.

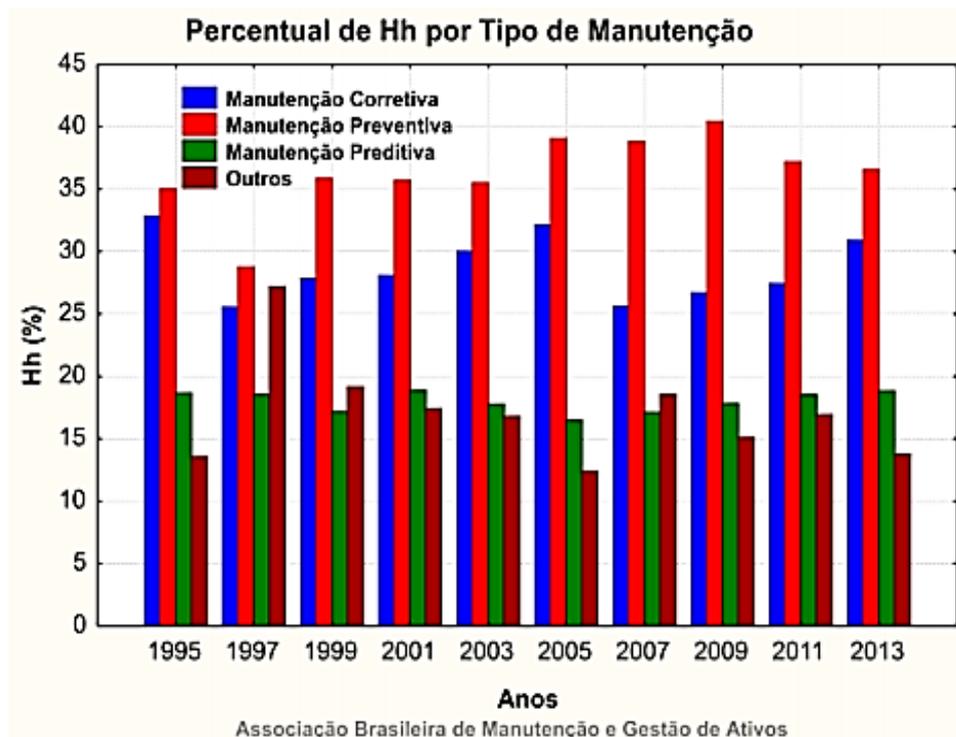


Figura 1 – Percentual de investimento anual por tipo de manutenção de forma gráfica.
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS (2013)

Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)				
Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2013	30,86	36,55	18,82	13,77
2011	27,40	37,17	18,51	16,92
2009	26,69	40,41	17,81	15,09
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56
Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)				

Figura 2 – Percentual de investimento anual por tipo de manutenção em forma de tabela.
 Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS (2013)

Por outro lado, dados mundiais da década de 90, mostram que as práticas normais de manutenção (práticas mais usuais no período) e as práticas-modelo (práticas consideradas ideais, visando ter uma alta eficiência de manutenção) apresentavam uma relação como a apresentada na Figura 3.

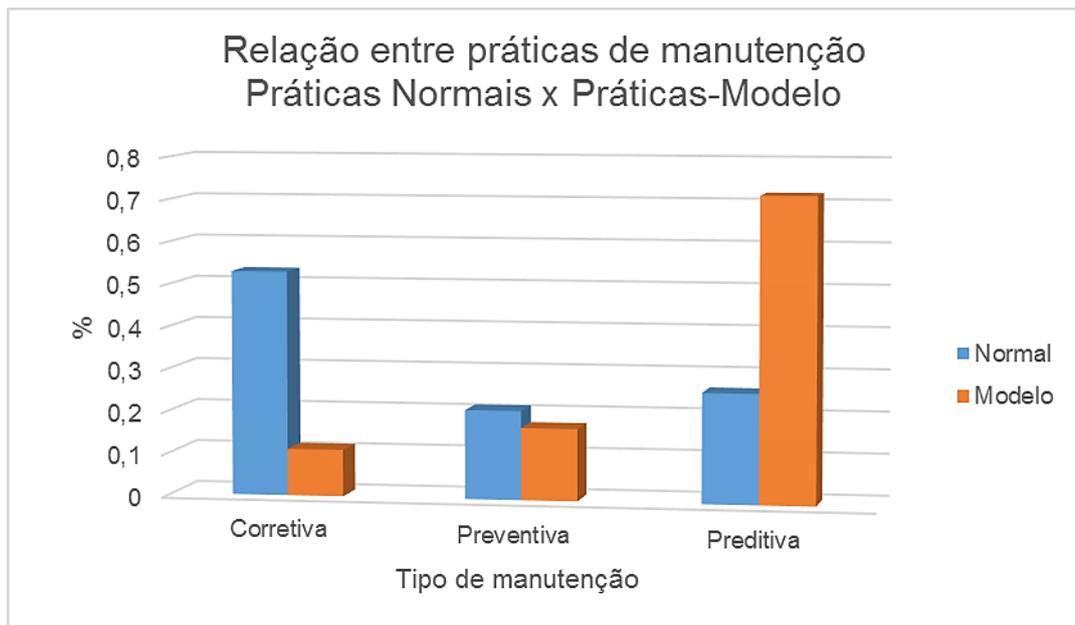


Figura 3 – Relação entre práticas de manutenção normais e práticas-modelo.
Fonte: Kardec, Joubert e Seixas (2002)

Analisando o gráfico apresentado na Figura 3, pode-se observar que desde a década de noventa os estudos apontam que uma maior prática de manutenção preditiva leva o sistema a melhores resultados (KARDEC, JOUBERT e SEIXAS, 2002).

1.2 OBJETIVOS

A seguir é apresentado o objetivo geral e específico desse trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é propor uma ferramenta para apoio a tomada de decisão, análise e otimização de manutenção no MIT, visando aumento da eficácia e resultado.

1.2.2 Objetivos específicos

A seguir são apresentados os objetivos específicos que quando concluídos resultam no objetivo geral. Os tópicos a seguir explanam os mesmos:

- Estudar os fundamentos e conceitos de manutenção industrial.
- Implementar a ferramenta em uma interface gráfica.
- Aplicar a ferramenta com dados reais, ou seja, realizar um estudo de caso.
- Verificar a situação e otimização proposta pela ferramenta, analisando sua utilidade e resultado.

1.3 METODOLOGIA

A seguir são apresentados os passos necessários para cumprir-se cada uma das etapas da metodologia:

- Definir a classificação de criticidade de cada motor dentro do processo produtivo.
- Definir indicadores ligados à manutenção e custo de manutenção, que expressem a realidade de forma clara, sem subjetividade.

- Definir a situação da manutenção dos motores, com base na criticidade e indicadores, tal etapa, é definida de Análise 1.
- Realizar a Otimização, a partir da Análise 1.
- Analisar novamente a situação dos motores após a Otimização, ou seja, realizar a Análise 2.
- Desenvolver uma ferramenta de *software* para tomada de decisão.
- Validar a ferramenta através de um estudo de caso na indústria.

Resumidamente temos em ordem cronológica duas análises iguais, sendo essas, Análise 1 e Análise 2, em períodos de tempo diferentes, e após cada uma delas tem-se uma indicação de Otimização, a qual tem como objetivo indicar possíveis mudanças que podem ser feitas nas técnicas de manutenção utilizada em cada MIT.

A realização do estudo de caso tem o intuito de validar a ferramenta com dados reais observando os pontos de sucesso e os que necessitam de ajuste, para obter-se um resultado satisfatório após a otimização da manutenção.

2. ASPECTOS GERAIS DA MANUTENÇÃO

A palavra manutenção é derivada do latim *manus tenere*, o que significa manter o que se tem, a mesma está presente na história humana há eras.

Porém, foi durante a Segunda Guerra Mundial que a manutenção se firmou como necessidade absoluta, nessa época houve um desenvolvimento muito significativo de técnicas de organização, planejamento e controle para tomada de decisão.

No Brasil, em 1990, com a abertura dos portos, a indústria nacional teve a necessidade de buscar um aumento na qualidade de seus produtos e serviços, além de permitir um custo operacional com poder de competição do produto nacional, em relação os estrangeiros que chegavam cada vez em maior número em nosso país.

Com o passar dos anos e o surgimento de equipamentos mais sofisticados e de alta produtividade fez com que a necessidade de disponibilidade crescesse muito. Com essa necessidade as técnicas de organização, planejamento e controle nas empresas sofreram uma grande evolução (VIANA, 2002).

Segundo Kardec, Flores e Seixas (2002) na visão atual a manutenção existe para que não haja manutenção, ou seja, vemos que o trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e não para corrigi-las.

Ainda em uma visão dos mesmos autores Segundo Kardec, Flores e Seixas (2002), a disponibilidade e confiabilidade são os objetivos mais buscados pelas empresas, pois os mesmos aumentam a lucratividade a medida que a disponibilidade e a confiabilidade melhoram. Além destes resultados, deve-se ter como prioridade a busca da excelência nas questões de SMS (Segurança, meio ambiente e saúde).

Hoje em dia não é mais aceitável que os equipamentos parem de maneira não planejada. Assim, a manutenção tem como missão garantir uma alta disponibilidade dos equipamentos de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, tendo uma alta confiabilidade, segurança pessoal e

ambiental, além de ter custos adequados (KARDEC, JOUBERT e SEIXAS, 2002).

2.1 TERMOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO

A seguir, tem-se um pequeno glossário de termos básicos que necessitam ser compreendidos para um melhor entendimento do trabalho.

2.1.1 Disponibilidade

Na visão de Kardec, Flores e Seixas (2002), disponibilidade é a probabilidade de que um sistema/equipamento, usado em certas condições, com uma política de manutenção implementada, em um meio adequado de apoio, irá operar satisfatoriamente por um período de tempo específico. Em outras palavras, é o tempo que o equipamento opera satisfatoriamente.

2.1.2 Confiabilidade

Bergamo (1997) define “confiabilidade como sendo a probabilidade de um produto executar, sem falhas, certa missão, em certas condições, durante um determinado período de tempo”. Por sua vez Kardec, Flores e Seixas (2002), definem a confiabilidade como, a característica de um item expressa pela probabilidade de que executará uma função exigida sobre condições estabelecidas, e por um período de tempo predeterminado.

Analisando ambas as definições, vemos que ambas convergem para transformar a confiabilidade em uma probabilidade. Desse modo, chega-se à conclusão que a confiabilidade é a probabilidade de uma máquina operar em bom estado dentro de um período de tempo predeterminado.

2.1.3 Custo de manutenção

Assim como foi apresentado no item 4.1.5, o custo de manutenção deve ser desmembrado em pessoal, materiais, contratação de serviços externos, depreciação e perda de faturamento.

Porém, em muitos casos um aumento de custo não significa uma piora no cenário da manutenção. Assim, um maior custo pode implicar em melhores técnicas de manutenção implementadas as quais proporcionam um aumento da produção e dessa forma o aumento do faturamento.

2.1.4 Segurança

Caso a segurança ambiental ou pessoal seja afetada, a disponibilidade, confiabilidade e o custo, podem ser levados a um segundo plano. No caso de um equipamento que tenha altos índices de taxa de frequência de acidentes (TFA) e taxa de gravidade de acidentes (TGA), o primeiro passo deve ser corrigir tais índices para depois melhorar a disponibilidade, confiabilidade e o custo.

3. MANUTENÇÃO NO MIT

A seguir tem-se uma explanação sobre falhas no MIT e técnicas de manutenção preditiva no MIT.

3.1 FALHAS NO MIT

O MIT tem como uma de suas principais características relatadas na literatura a de sua robustez, porém, por mais que o mesmo tenha essa característica, está sujeito a falhas. De acordo com Bellini et al. (2008), estas falhas afetam diretamente o desempenho, antes que problemas significativos ocorram.

Dessa forma, dependendo da frequência e do custo dessas falhas, da importância desse motor para produção, da segurança pessoal e ambiental, existe a necessidade de uma manutenção que tenha a capacidade de perceber a anomalia antes que a mesma comprometa o estado do equipamento.

De acordo com Bellini et al. (2008) e Baccharini (2005), as máquinas de indução apresentam um sistema elétrico altamente simétrico. Desse modo, uma pequena falha, altera essa característica sendo refletida tanto em vibrações mecânicas quanto na corrente elétrica.

Falhas em motores elétricos são passíveis de classificação em dois grandes grupos a saber: falhas mecânicas e falhas elétricas. Outras falhas que podem vir a acontecer são geradas pelos componentes de acionamento e de potência ligados a máquina ou a má qualidade de energia elétrica, também podem ocasionar o mau funcionamento deste equipamento. Porém, estes são considerados externos ao motor e dessa forma, não são tratados como falha do mesmo (GONGORA, 2013).

As falhas elétricas, no rotor quanto no estator estão relacionadas pelos enrolamentos aberto ou em curto-circuito, barras quebradas ou anéis de curto circuito danificados. Já para as falhas de origem mecânica tem-se a

excentricidade do rotor deslocado do seu centro magnético, rolamento defeituoso, bem como eixo do rotor torto ou desalinhamento dos acoplamentos mecânicos (KOWALSKI; ORLOWSKA-KOWALSKA, 2003).

Os estudos apresentados por Kowalski e Orłowska-Kowalska (2003) e Singh e Kazzaz (2003) mostram que, os rolamentos apresentam 42% das falhas, 28% são problemas com o enrolamento do estator e 8% com rotor. A Figura 4 apresenta esses dados em um gráfico, vemos no mesmo um comparativo em forma percentual da ocorrência de falhas no MIT, o qual foi apresentado em estudo do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) (KOWALSKI; ORLOWSKA-KOWALSKA, 2003).

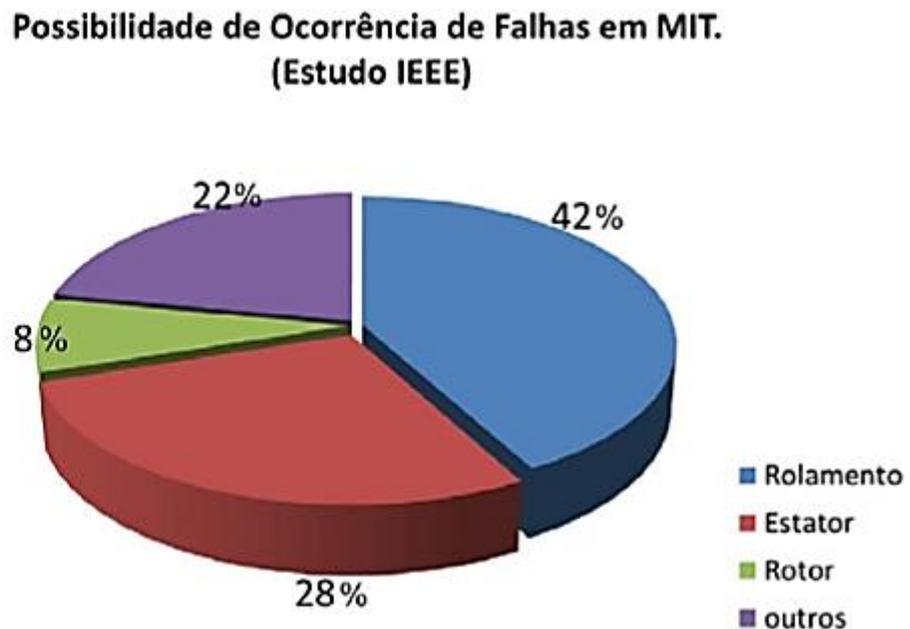


Figura 4 – Comparativo percentual da ocorrência de falhas em MIT
Fonte: Kowalski e Orłowska-Kowalska (2003)

3.2 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA NO MIT

Como visto antes no gráfico da Figura 3, a manutenção preditiva é uma técnica modelo de manutenção, isso devido à mesma prevenir a falhas aleatórias e evitar gastos.

A seguir, nos tópicos 3.2.1 e 3.2.2 tem-se uma explanação a respeito das técnicas mais usadas de manutenção preditiva na indústria nos MIT, análise de vibrações e termometria.

3.2.1 Análise de vibrações

Pode-se definir a análise de vibração como o processo pelo qual as falhas em partes móveis da máquina, são descobertas pela taxa de variação das forças dinâmicas geradas. Essas forças afetam o nível de vibração, que pode ser avaliado em pontos acessíveis, sem interromper o funcionamento do equipamento.

A análise de vibração pode ser feita de dois modos: medição do nível global e análise de espectros. A primeira tem como objetivo determinar o estado geral do equipamento, a qual é dada pela somatória do modo de vibração de todos os componentes. Na segunda, é realizada a estratificação das frequências elementares que compõem todo sinal complexo permitindo a identificação de cada componente, atualmente essa estratificação é feita por meio da Transformada Rápida de Fourier (FFT – *Fast Fourier Transformation*).

Com base em uma análise de vibração os problemas típicos encontrados são: desbalanceamento, desalinhamento, empeno de eixos, excentricidades (polias, mancais e rotores), desgaste, má fixação e problemas elétricos (quebra de barras de rotores, má fixação de bobinas, núcleos ou peças polares, etc.).

É válido elencar alguns pontos a seguir, que podem gerar uma má análise, são esses: escolha incorreta do local de medição, não verificar interferências por meio de estruturas ou proximidade com outras máquinas, medições realizadas em condições diferentes de operação (carga ou rotação), desconhecimento dos componentes internos (modelo do rolamento, número de dentes das engrenagens, etc.), tentativa de medições em frequências incompatíveis com os sensores e utilização de sensores inadequados.

O diagnóstico por meio da análise de vibrações é um dos mais importantes métodos de predição em vários tipos de indústria, tendo maior

ênfase em equipamentos rotativos, como é o caso do MIT. Os parâmetros de vibração relacionados com máquinas rotativas são expressos usualmente em termos do deslocamento, velocidade e aceleração. Essas apresentam o quanto o equipamento está vibrando. A frequência é outra variável que tem como ponto importante identificar a origem da vibração (KARDEC, NASCIF e BARONI, 2002).

3.2.2 Termometria

A termometria é um estudo baseado na medição da temperatura e pode-se dividir em dois grupos, baseados no tipo de medição: medição de contato e medição remota.

A medição de contato é realizada por meio do contato físico, buscando um perfeito equilíbrio térmico entre sensor e o meio medido. A medição remota é uma técnica onde a medição é realizada por sensores que não estão em contato físico com objeto de estudo.

A termometria é uma técnica de inspeção não destrutiva que possibilita a medição de temperaturas ou observação de padrões de diferenças de calor. Ainda, a medição é feita através da radiação infravermelha emitida por qualquer corpo impossível de ser vista a olho nu.

A mesma é muito usada na indústria, podendo ser usada para detectar qualquer defeito que gere troca ou perda de calor. Assim sendo, pode ser muito utilizada na detecção de falhas elétricas ou mecânicas. A técnica preditiva de termometria tem como características: medições sem contato físico, verificação com equipamento em funcionamento e alto rendimento devido à inspeção de grandes superfícies em pouco tempo.

A seguir são listados benefícios que tal técnica pode trazer:

- Aumento da confiabilidade e segurança do equipamento.
- Redução de intervenções corretivas.

- Redução de risco de incêndios.
- Controle do tempo de vida útil de equipamentos.

No caso da termometria aplicada nas máquinas elétricas, a mesma é utilizada para diagnóstico de falhas elétricas potenciais. Considerando que toda energia fornecida não é transformada em trabalho, uma parte é dissipada através do efeito Joule. Tal parte pode ser controlada permitindo o acompanhamento do envelhecimento da máquina, bem como diagnosticar as falhas geradas por curto-circuito parcial entre espiras, falhas de isolamento e refrigeração.

O conjunto rotativo tem um aquecimento normal resultado do seu funcionamento, porém, deve haver um equilíbrio entre o calor gerado e retirado. Caso ocorra um desequilíbrio térmico é possível, por meio da análise termográfica, associar tal irregularidade a uma geração de calor anormal. Geralmente é aplicada a análise em mancais, acoplamentos e polias (FILHO, 2007).

A termometria pode detectar cinco fontes causadoras de aquecimento em motores elétricos, são essas: interferências da rede elétrica, sistema de refrigeração ineficiente, influência de fontes externas de calor, operação indevida e sobrecarga. Uma forma de utilização das informações térmicas é o acompanhamento através de transdutores de temperatura instalados na carcaça dos pontos relevantes, geralmente acompanha-se a tendência da temperatura dos mancais das armaduras e do estator (DRUMMOND, GOEDEL, BRONIERA JUNIOR, GRACIOLA e MIZUYA, 2013).

O limite de temperatura do motor elétrico pode ser submetido depende dos materiais que formam o mesmo (FILHO, 2007).

4. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE MANUTENÇÃO

A seguir são apresentadas duas ferramentas de análise de manutenção são essas: classificação de criticidade e indicadores de manutenção.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE

Para realizar uma análise e um planejamento da manutenção, precisa-se saber primeiramente em que estado se encontra cada máquina. Para isso, usa-se uma ferramenta chamada classificação de criticidade (VIANA, 2002). A logística implementada consiste em realizar a análise crítica de cada equipamento, observando a sua importância para a planta.

A análise é feita através de perguntas ao responsável pela operação dos equipamentos, as quais são divididas em três grupos, sendo esses: segurança no trabalho e meio ambiente, qualidade e operacionalidade. Cada um dos grupos terá uma pontuação específica. Assim, a pontuação final (PF), a qual irá definir a classificação de criticidade do equipamento, será o resultado da ponderação entre as três pontuações já citadas.

E por fim, de acordo com o valor de PF, é possível definir a classificação de criticidade, da seguinte forma:

- Criticidade alta se PF for maior que 4.
- Criticidade média se PF for maior ou igual a 2 e menor que 4.
- Criticidade baixa se for entre 0 e 2.

Dessa forma pode-se verificar qual a criticidade de cada equipamento.

As perguntas são apresentadas no Quadro 1 a seguir, é importante ratificar que as mesmas são feitas de forma individual a cada equipamento, a pontuação referente a resposta das perguntas foi definida mediante estudos do autor da ferramenta.

Equipamento: Criticidade:	NÃO	PARCIAL	TOTAL
SEGURANÇA NO TRABALHO E MEIO AMBIENTE			
A falha no equipamento afeta a integridade física do homem?	0	1	12
A falha do equipamento afeta o meio ambiente externo?	0	1	12
A falha do equipamento afeta o meio ambiente interno?	0	1	3
Pontuação 1 = ____			
QUALIDADE			
A falha no equipamento afeta a imagem da empresa junto ao cliente?	0	1	12
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto acabado?	0	1	12
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto durante o processo?	0	1	3
Pontuação 2 = ____			
OPERACIONALIDADE			
O equipamento é exigido 24 h por dia?	0	1	2
O equipamento possui stand-by?	0	1	2
A falha do equipamento provoca interrupção do processo produtivo?	0	1	12
Pontuação 3 = ____			
PF = (P1 + P2 + P3)/3 = _____			

Quadro 1 – Classificação de criticidade
Fonte: Viana (2002).

Após análise do Quadro 1, conclui-se que quanto maior a criticidade de um equipamento menos o mesmo deve falhar, isso devido as consequências serem altas, desse modo, mais deve-se investir em prevenção de falhas em equipamentos de alta criticidade.

4.2 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores são utilizados com o propósito de atingir metas operacionais definidas, ajudando na tomada de decisão. Os mesmos servem tanto para indicar possíveis melhoramentos como também mostrar quais são as áreas de desempenho satisfatório.

Segundo Kardec, Flores e Seixas (2002), os indicadores fornecem valores, que representam informações racionais e objetivas, as quais quantificam o desempenho e eliminam o nível de subjetividade das medidas.

Existem seis indicadores chamados de “Índices de Classe Mundial”. Tal denominação encontra justificativa no fato de que a maioria dos países do ocidente os utiliza. Existem também, outros indicadores, os quais são criados e adaptados de indústria para indústria, com o objetivo de realizar uma análise mais específica a cada situação. Esses índices serão apresentados a seguir.

4.2.1 Indicadores de classe mundial

A seguir serão listados cada um dos indicadores de classe mundial, que serão utilizados no trabalho, e como são calculados.

4.2.1.1 TMEF – Tempo médio entre falhas

O tempo médio entre falhas é definido conforme a equação (1) a seguir:

$$TMEF = \frac{HT}{NC} \quad (1)$$

onde HT, são as horas trabalhadas, na qual a máquina esteve produzindo (em funcionamento), e NC é o número de intervenções corretivas neste equipamento.

Conforme o valor de TMEF aumenta, será um sinal positivo, pois dessa forma o número de intervenções corretivas vem diminuindo e conseqüentemente aumenta-se a disponibilidade.

Nota: Caso o valor de NC seja igual a “0”, o valor de TMEF, será igual à HT, isso para questão de análise.

4.2.1.2 TMR – Tempo médio de reparo

A equação (2) do tempo médio de reparo é apresentada a seguir:

$$TMR = \frac{HIM}{NI} \quad (2)$$

onde se tem que HIM são as horas de indisponibilidade devido à manutenção, planejada e não planejada e NI é igual ao número totais de intervenções de manutenção. Logo, quando menor TMR no passar do tempo, melhor o andamento da manutenção.

Nota: se o valor de NI é igual a 0, então o valor de TMR será igual a 0, isso para questão de análise.

4.2.1.3 DF – Disponibilidade física

Para calcular-se a disponibilidade tem-se a equação (3) a seguir:

$$DF = \frac{HT}{HG} \times 100\% \quad (3)$$

Onde HT são as horas trabalhadas, ou seja, o tempo que a máquina permaneceu em funcionamento e HG são as horas totais no período.

4.2.1.4 CMPF – Custo de manutenção por faturamento

O custo de manutenção deve ser definido como a soma dos seguintes custos apresentando a seguir:

- **Pessoal:** Envolve todas as despesas com salários e prêmios, encargos sociais e benefícios concedidos pela empresa, e gastos com aperfeiçoamento do efetivo.
- **Materiais:** Custo de reposição dos itens, energia elétrica, consumo d'água e capital imobilizado, custos ligados à administração do almoxarifado e setor de compras.
- **Contratação de serviços externos:** Contratos com empresas externas para serviços permanentes ou circunstanciais.
- **Depreciação:** Custos diretos de reposição ou investimentos em equipamentos e ferramentas, custos indiretos de capital imobilizado, e custos administrativos com o setor contábil da empresa.
- **Perda de faturamento:** Custos da perda de produção, e custos com desperdício de matéria-prima.

Somando todos os custos elencados à cima tem-se o CTM (Custo total de manutenção) sendo FE o faturamento da empresa, temos a equação (4) a seguir:

$$CMPF = \frac{CTM}{FE} \times 100\% \quad (4)$$

É importante salientar que em uma análise tradicional (utilizada quando se deseja uma análise mais direta) o CTM é dado apenas pela soma dos custos de pessoal, material e contratação de serviços externos. Porém, sempre que possível é válido fazer a análise completa do CTM, trazendo assim o resultado muito próximo da realidade.

4.2.1.5 CMVR – Custo de manutenção por valor de reposição

Tal índice é composto pela relação entre o custo total e de manutenção acumulado de um determinado equipamento com o seu valor de compra (VC). É mais comumente usado para equipamentos de alta criticidade. O CMVR é calculado conforme a equação (5).

$$CMVR = \frac{CMEA}{VC} \times 100\% \quad (5)$$

onde, CMEA é o custo de manutenção acumulado do equipamento em questão, ou seja, todo montante destinado diretamente a manutenção do mesmo, desde a compra.

Na análise do CMVR comumente divide-se o valor final por um período de tempo (em anos), o qual serve de base para acompanhamento da variável, porém a aplicação da divisão ao indicador é de caráter facultativo.

Nota: esse custo é apenas o custo direto, diferentemente do CTM, ou seja, apenas o gasto que compete apenas àquela máquina.

Segundo Viana (2002), um valor aceitável seria um CMVR menor que 6% no período de um ano, dependendo do retorno financeiro e estratégico do equipamento analisado (VIANA, 2002).

4.2.2 Outros indicadores

A seguir serão apresentados outros indicadores que serão utilizados no decorrer desse trabalho.

4.2.2.1 Produtividade

A Produtividade de uma máquina é definida conforme o tipo de demanda que é aplicada ao setor (fixa ou variável)

Demanda variável, ligada à ideia de aumento contínuo da produção, pode não existir uma meta de produção, ou se existe, a mesma esta próxima do limite da capacidade do setor, sendo uma tarefa árdua alcançar a mesma.

Demanda fixa, o setor tem uma necessidade de produção pré-definida, e quase sempre é suprida de maneira “fácil”, não sendo preciso que o setor opere no limite de sua capacidade durante o período de análise.

Quando a demanda é variável calcula-se a Produtividade conforme a equação (6):

$$Produtividade = \frac{HT}{HD} \times 100\% \quad (6)$$

onde, as variáveis HD e HT são as mesmas que já foram apresentadas anteriormente na equação (1) e equação (3).

Já quando a demanda é fixa a Produtividade é dada pela equação (7), apresentada a seguir:

$$Produtividade = \frac{Produzido}{Demanda} \times 100\% \quad (7)$$

onde, Produzido é o quanto produziu e Demanda é o quanto se planejou produzir, a Produtividade é tratada de forma global nesse caso (para todo setor). O valor aceito é sempre 100% ou próximo a ele nesse caso.

4.2.2.2 EM – Eficiência da manutenção

A eficiência de manutenção tem como objetivo refletir a situação do planejamento de manutenção na prática, ou seja, a mesma tem valor ótimo quando, todo tempo gasto com manutenção é planejado, sendo assim, as horas de manutenção não planejadas são iguais a zero.

A eficiência da manutenção é definida conforme a equação (8) a seguir:

$$EM = \frac{HMP}{HIM} \times 100\% \quad (8)$$

A variável HIM é correspondente às horas de indisponibilidade devido à manutenção, planejada e não planejada e a variável HMP, são as horas de manutenção planejada.

Nota: se ambas variáveis (HMP e HIM) forem iguais a “0”, considera-se a eficiência de manutenção igual a cem por cento, porém, é importante salientar que qualquer intervenção resultará na alteração da variável HIM, logo, sendo o valor de HMP nulo, a eficiência de manutenção será igual a zero.

5. APLICAÇÃO DA ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO

Nessa etapa do trabalho foram definidas as técnicas de análise que resultaram também em uma indicação de otimização do sistema de manutenção. Antes de realizá-las cabe ao gerente de manutenção definir o dia de início e término de cada análise, sendo o número de dias entre tais datas o período de análise (PA). A seguir tem-se cada uma das análises que serão realizadas, detalhadas em três âmbitos diferentes, são esses: análise em cada MIT, análise geral e análise de custo.

É importante salientar que a otimização é realizada dentro da análise geral e está presente no capítulo 5.2.1 a seguir.

5.1 ANÁLISE DO MIT

A análise de individual dos MITs é a primeira a ser feita, essa é realizada com base na classificação de criticidade (apresentada no capítulo 4.1), a qual deve ser feita pelo gestor de manutenção, e com base nos indicadores de manutenção (apresentados no capítulo 4.2).

Primeiramente, o gestor deve preencher a classificação de criticidade do equipamento, depois de realizada, o mesmo deve definir os indicadores que são utilizados nessa análise, os mesmos são listados a seguir:

- EM – Eficiência da manutenção.
- TMEF – Tempo médio entre falhas.
- TMR – Tempo médio de reparo.
- DF – Disponibilidade Física.

- CMVR – Custo de manutenção por valor de reposição.
- Produtividade.

Para o gestor conseguir calcular os indicadores o mesmo deve definir as variáveis que compõe os indicadores, tais variáveis são apresentadas a seguir:

- PA – Período de análise.
- HD – Horas disponíveis (horas planejadas para máquina produzir).
- NC – Número de intervenções corretivas.
- HIM – Horas indisponíveis devido à manutenção (sendo essa manutenção planejada ou não)
- HT – Horas trabalhadas (tempo que a máquina ficou em funcionamento).
- HG – Horas totais no período de análise.
- CMEA – Custo de manutenção acumulado do equipamento.
- VC – Valor de compra.
- HMP – Horas de manutenção planejadas.
- NI – Numero de intervenções de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva).

- Produzido – Quanto foi produzido pelo setor no período de análise.
- Demanda – Quanto se planejou produzir no período de análise.

Após definir a classificação de criticidade, os valores das variáveis listadas anteriormente e calcular o resultado dos indicadores de manutenção, resta selecionar qual o tipo de manutenção atual presente no MIT. Após este procedimento, a análise do MIT é finalizada, a mesma deve ser feita em cada MIT.

5.2 ANÁLISE GERAL

Para realizar a análise geral têm-se duas definições que devem ser feitas pelo gestor de manutenção, são essas: produtividade mínima aceita em cada MIT (PMA), e número de intervenções corretivas máximo aceito (NCMA) em cada MIT.

Os valores aceitos de PMA e NCMA podem ser definidos após a análise dos MIT apresentada no capítulo 5.1.

5.2.1 Definição da manutenção indicada e otimização

A manutenção indicada em cada MIT depende unicamente dos valores de criticidade, PMA e NCMA. A seguir são apresentadas as condições necessárias para que a manutenção atual seja considerada satisfatória em um motor com criticidade média ou baixa:

- Valor de produtividade do MIT seja maior que o valor de PMA (produtividade mínima aceita).

- Número de intervenções corretivas no MIT seja menor que NCMA (número, de intervenções corretivas, máximo aceito).

Agora para um motor com criticidade alta:

- Valor de produtividade do MIT seja maior que o valor de PMA (produtividade mínima aceita).
- Número de intervenções corretivas no MIT seja menor que zero.

Caso a manutenção não seja considerada satisfatória a mesma deve ser mantida. Caso a mesma não seja satisfatória deve-se usar uma técnica de manutenção mais apurada. Se a manutenção atual do MIT é corretiva, é indicado planejar uma manutenção preventiva na máquina, caso a máquina já receba tal manutenção, é indicado realizar uma manutenção baseada em técnicas preditivas.

Tais sugestões de mudança na técnica de manutenção têm como objetivo gerar uma otimização da manutenção, visando aumentar a confiabilidade, disponibilidade e segurança do sistema.

5.2.2 Definição da situação geral dos indicadores

Ainda, dentro da análise geral do sistema, deve-se fazer uma análise da situação de todos os indicadores, gerando uma visão global da situação da manutenção com base nos mesmos. Para realizar essa análise basta realizar a média aritmética de todos os indicadores.

5.3 ANÁLISE DE CUSTOS

Com objetivo de auxiliar na tomada de decisão do gerente de manutenção deve-se realizar uma análise de custo da mesma. Tal análise deve apresentar uma visão global do custo com manutenção, além de realizar uma análise voltada para o custo de manutenção com os MIT. A seguir tais análises serão apresentadas, nos capítulos 5.3.1 e 5.3.2.

5.3.1 Custo global de manutenção

Para realizar uma análise global a respeito dos custos de manutenção necessita-se de alguns dados financeiros da instituição. Alguns desses dados já foram apresentados e explicados no tópico 5.1.4. Tais dados são os que compõem o CTM, tais como: pessoal, materiais, contratação de terceiros, depreciação, perda de faturamento total. Realizando-se a soma de todos esses fatores dentro do período de análise especificado tem-se o CTM.

Outro dado que é necessário para realizar essa análise é o FE (faturamento da empresa) no período de análise. Com os valores de CTM e FE, é possível calcular o custo de manutenção por faturamento (CMPF). Este índice tem como finalidade visualizar se um maior investimento na manutenção aumenta o faturamento da empresa, auxiliando assim na tomada de decisão do gestor.

5.3.2 Custo de manutenção nos MIT

Como a proposta deste trabalho está voltada para uma melhora na técnica de otimização do MIT, uma análise de custo da manutenção nos mesmos é necessária.

Para realizar essa análise necessitamos de uma variável chamada de CME, custo de manutenção do equipamento. A referida análise, diferentemente do CMEA, ela apresenta o custo com manutenção do equipamento apenas no período de análise. Realizando uma soma dos CME, de cada MIT em um

período de análise tem-se o custo direto total destinado a manutenção dos MIT. Desse modo, é possível comparar quanto do montante geral gasto com manutenção é destinado aos MIT de forma direta.

Como consequência, o gestor pode realizar um melhor controle dos gastos com manutenção nos MIT.

6. PROPOSTA, INTERFACE GRÁFICA E COMUNICAÇÃO

6.1 PROPOSTA

Hoje em dia, sabe-se que planejamento e controle são extremamente necessários quando se deseja aumentar a eficiência do setor de manutenção. Um bom controle de dados históricos dos equipamentos é indispensável para um bom planejamento, resultando em economia de gastos, aumento da produção e diminuição de ações corretivas.

Desse modo, a proposta deste trabalho de conclusão de curso é implementar a análise e otimização em uma interface gráfica utilizando das ferramentas apresentadas no capítulo 4, as quais auxiliam no planejamento da manutenção.

As ferramentas devem ser alimentadas com dados históricos da manutenção e operação dos equipamentos. Assim, cada uma delas, irá gerar uma resposta (análise), e com base na comparação das mesmas, tem-se uma proposta de otimização nas técnicas de manutenção, dependendo da situação analisada.

Por fim, tem-se como objetivo final implementar as ferramentas e um *software*, que possa auxiliar a tomada de decisão do gestor em decisões de curto e longo prazo, através de um controle de dados históricos de manutenção.

6.2 INTERFACE GRÁFICA E COMUNICAÇÃO

Atualmente é indispensável o uso de um *software* para realizar um planejamento e controle da manutenção. Isso ocorre devido principalmente ao fato de o número de informações a serem processadas ser muito alto (VIANA, 2002).

Como objetivo deste trabalho de conclusão de curso consiste na aplicação de uma ferramenta de manutenção e não a criação de um *software* de manutenção, os requisitos levados em conta para definição do mesmo foram:

- Operar na plataforma Windows.
- Relação amigável com o operador, ou seja, ter como opção de idioma o português e ter uma navegação racional.
- Fácil acesso as informações registradas.
- Ser implementando em uma interface gráfica de conhecimento geral.

Com base nos pontos acima o software escolhido foi o EXCEL, por ser amplamente conhecido dentro da indústria, e ser capaz de realizar a análise e otimização pretendida no trabalho.

6.2.1 Modo de operação

Para implementar a análise e otimização no EXCEL, dividiu-se o trabalho em três tipos planilhas, sendo cada uma dessas correspondentes as seções 5.1, 5.2 e 5.3, apresentados anteriormente. A seguir será explicado o funcionamento geral do programa implementado no EXCEL.

Para operar o *software*, primeiramente é necessário salientar alguns pontos que são fundamentais para um bom funcionamento, é que se aplicam as três planilhas. Tais pontos são:

- Todas as cédulas em brancos devem ser preenchidas pelo operador, as cédulas em cinza, são preenchidas automaticamente após o preenchimento das primeiras.
- Todas as cédulas que apresentam uma pequena seta vermelha em seu canto superior direito, quando o mouse posicionado sobre a mesma apresenta um comentário para melhor entendimento do que é gerado ou pedido na mesma.

A seguir será feita uma apresentação de cada planilha, explicando todos os pontos necessários para operação das mesmas.

É importante salientar que os dados presentes nas figuras a seguir, foram simulados e não representam a realidade de nenhuma indústria.

6.2.2 MIT

A planilha MIT é criada de forma individual para cada motor, ou seja, cada motor deve ter a sua planilha (motor 1: MIT1, motor 2: MIT2, e assim por diante). Primeiramente deve-se verificar a quantidade de MIT, para diferenciá-los nas planilhas. O método adotado consiste em usar, MIT1 para o primeiro MIT, MIT2, para o segundo, e assim, sucessivamente, até o último MIT. Desse modo, tem-se o número de planilhas igual ao número de MIT e pode-se diferenciá-los pelo número.

A planilha de MIT é dividida em duas tabelas. A primeira é a classificação de criticidade a qual foi apresentada no Quadro 1. A mesma foi aplicada na planilha seguindo a mesma abordagem apresentada, porém com uma interface mais visual e dinâmica ao operador. A referida tabela pode ser observada na Figura 5 a seguir.

MIT1		NÃO	PARCIAL	TOTAL	RESULTADO
Equipamento:	Criticidade:				
SEGURANÇA NO TRABALHO E MEIO AMBIENTE					
A falha no equipamento afeta a integridade física do homem?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12
A falha do equipamento afeta o meio ambiente externo?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
A falha do equipamento afeta o meio ambiente interno?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Pontuação 1		12			
QUALIDADE					
A falha no equipamento afeta a imagem da empresa junto ao cliente?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto acabado?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto durante o processo?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Pontuação 2		1			
OPERACIONALIDADE					
O equipamento é exigido 24 h por dia?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
O equipamento possui stand-by?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
A falha do equipamento provoca interrupção do processo produtivo?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
Pontuação 3		0			
PONTUAÇÃO FINAL		4,33			

Figura 5 – Interface de classificação de criticidade (planilha MIT)

Fonte: Autoria própria

Os quadrados verdes, amarelos e vermelhos, são botões que quando selecionados alteram o resultado automaticamente, e quando preenchidos alteram a pontuação final.

A segunda tabela é preenchida na Análise 1 e na Análise 2. A mesma é apresentada na Figura 6.

Análise 1			
Variáveis		Indicadores MIT1	
PA (dias)	2219	EM	95,55%
HD	0	TMEF (horas)	19200:00:00
NC	3	TMR (horas)	167:36:45
HIM	2681:47:54	DF	108,16%
HT	57600:00:00	CMVR	29,08%
HG	53256:00:00	Produtividade	95,55%
CME	2.373,26	Manutenção Implementada	2
CMEA	2373,26	1 - Manutenção Corretiva	
VC	1360	2 - Manutenção Preventiva	
HMP	2562:33:06	3 - Manutenção Preditiva	
NI	16		
Análise 2			
Variáveis		Indicadores MIT1	
PA (dias)	2192	EM	99,55%
HD	0	TMEF (horas)	19200:00:00
NC	3	TMR (horas)	384:41:33
HIM	8463:14:15	DF	109,49%
HT	57600:00:00	CMVR	39,79%
HG	52608:00:00	Produtividade	87,19%
CME	98880:00:00	Manutenção Implementada	2
CMEA	6493,26	1 - Manutenção Corretiva	
VC	1360	2 - Manutenção Preventiva	
HMP	8425:28:32	3 - Manutenção Preditiva	
NI	22		

Figura 6 – Interface para análise dos indicadores na análise 1 e análise 2 (planilha MIT)
Fonte: Autoria própria

Na Figura 6, o que diferencia a Análise 1 da Análise 2 é o tempo em que elas ocorrem, sendo a primeira referente ao primeiro período de análise e a segunda ao segundo período de análise.

Pode-se ver na mesma a análise dos indicadores de cada MIT. Na tabela de indicadores da Análise 2 a cor final de cada indicador representa se o mesmo melhorou ou não quando comparado a Análise 1. Assim, quando o mesmo é verde significa que houve melhora e caso a cor seja vermelha o indicador piorou.

O indicador CMVR, recebe o valor acumulado de gasto com manutenção no MIT, este índice tem seu valor incrementado no decorrer do

tempo, porém é dividido pelo período total de anos de análise do mesmo como já explicado no capítulo 4.2.1.

6.2.3 Geral

Diferentemente da planilha MIT, a planilha Geral é feita para todos os motores e mostra uma situação geral da manutenção dos mesmos, a mesma é formada, em sua maioria, pelos dados fornecidos pela planilha dos MITs. Está também indica uma possível mudança na técnica de manutenção realizada, e um gráfico geral da situação da manutenção nos MITs. Além disso, algumas definições devem ser feitas pelo gestor nessa planilha, a saber:

- Período de análise.
- Tipo e valor de demanda e total produzido.
- PMA.
- NCMA.

A seguir na Figura 7 pode-se ver a tabela hipotética de análise da situação geral da manutenção.

Análise geral da situação da manutenção											
MIT	Criticidade	CMVR 1	CMVR 2	Prod. 1	Prod. 2	NC 1	NC 2	Baixa	Media	PMA	NCMA
1	4,33	1,67%	5,00%	99,18%	99,11%	1	1	2	4	52,00%	1
2	1,00	1,11%	2,67%	87,50%	87,62%	1	1	2	4	52,00%	1
3	11,33	6,41%	15,38%	95,37%	95,74%	3	1	2	4	52,00%	1

Figura 7 – Análise geral da situação da manutenção (planilha Geral)
Fonte: Autoria própria

Na Figura 7 tem-se a simulação de um setor industrial onde tem-se apenas três MIT. Na segunda coluna pode-se ver a criticidade, onde a mesma é verde quando baixa, amarela quando média ou vermelha quando alta. Nas colunas CMVR 1 e 2, pode-se ver o crescimento do indicador e monitorá-lo, sendo a primeira realizada após a Análise 1 e a segunda referente a Análise 2.

As seguintes colunas, Prod. 1 e 2, são responsáveis por apresentar a produtividade do MIT na Análise 1 e 2. A menor produtividade dentre os MIT apresenta a cor vermelha mais forte e a maior a cor verde escura, variando entre o amarelo.

As colunas NC1 e NC2, apresentam o número de intervenções corretivas na Análise 1 e 2, respectivamente. As colunas, Baixa e Média, estão relacionadas à criticidade e servem apenas de parâmetro para o gráfico apresentado na planilha conforme na Figura 10.

As duas últimas colunas PMA e NCMA, são as quais o gestor deve preencher com os valores aceitos das mesmas. Essas, como pode-se ver são as únicas com fundo branco. A Figura 8 a seguir apresenta um panorama geral dos indicadores.

Situação geral dos indicadores			
Análise 1		Análise 2	
EM	76,67%	EM	77,47%
TMEF (horas)	1646,67	TMEF (horas)	2266,67
TMR (horas)	87,22	TMR (horas)	112,33
DF	74,02%	DF	73,58%
CMVR	3,06%	CMVR	7,68%
Produtividade	94,02%	Produtividade	94,16%

Figura 8 – Análise geral dos indicadores (planilha Geral)
 Fonte: Autoria própria

Caso os indicadores na Análise 2 sejam melhores que na Análise 1, os mesmos apresentam um fundo verde em seu resultado, caso piores, o fundo é vermelho. O indicador CMVR assim como explicado no capítulo 4.2.1, não tem

a cor da sua cédula alterada. A Figura 9 a seguir apresenta o período de análise, o qual deve ser definido e também temos o questionamento ao operador do *software* se o setor tem demanda fixa ou não de produção.

Hoje	18/06/2016	Setor tem uma demanda fixa por período?					0		
Período	Inicial	Final	Dias	Anos	SIM - 0	Variáveis	P1	P2	
Análise 1	01/06/15	29/12/15	211	1/2		NÃO - 1	Produzido	78	97
Análise 2	01/06/16	29/12/16	211	1/2	Demanda		100	125	

Figura 9 – Definição dos períodos de análise e tipo de demanda (planilha Geral)
 Fonte: Autoria própria

A data do dia atual, e a contagem de dias entre os períodos e feita de forma automática, por isso a cor cinza ao fundo da cédula. Quanto ao tipo de demanda cabe ao gestor de manutenção definir se é fixo ou não, conforme a legenda, e se sim, qual a demanda e qual o total produzido, a unidade não precisa ser mencionada, porém deve ser a mesma para Demanda e Produzido.

A Figura 10 apresenta o gráfico geral para uma análise visual da situação, nele são apresentados apenas os pontos relevantes para indicação da manutenção realizada.

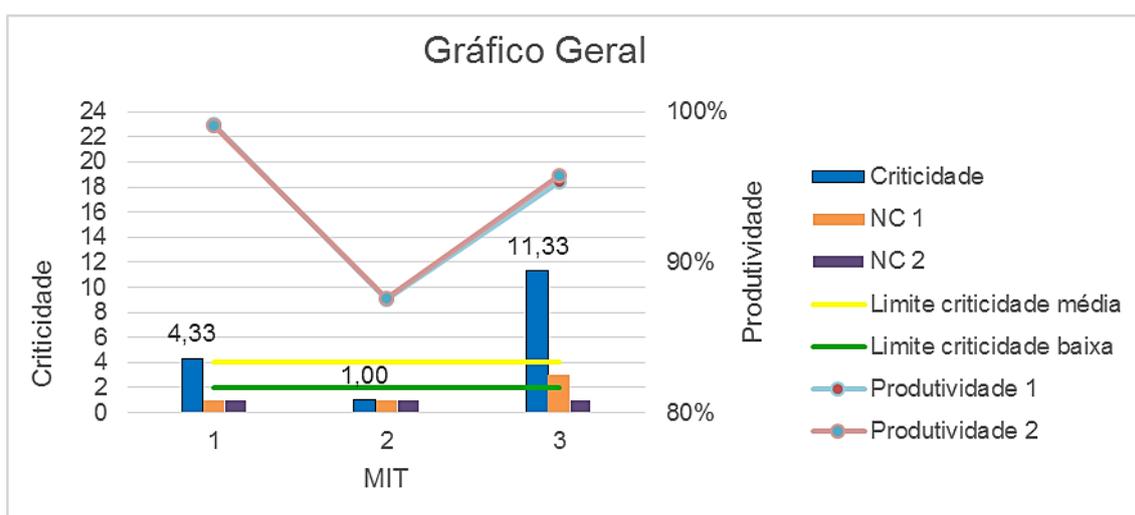


Figura 10 – Gráfico geral (planilha Geral)
 Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 10 procura trazer uma análise visual da situação, podendo verificar a variação das variáveis, principalmente em máquinas críticas. O mesmo apresenta dados retirados da Figura 7.

A Figura 11 a seguir apresenta o resultado da manutenção indicada, nela é apresentada a manutenção atual no momento da análise e qual a manutenção indicada. A manutenção atual respeita a legenda da planilha do MIT e o valor dela é transferido automaticamente para planilha geral.

Resultados			
M. Atual 1	M. Indicada 1	M. Atual 2	M. Indicada 2
1	M. Preventiva	2	M. Preditiva
1	Mantem atual	1	Mantem atual
2	M. Preditiva	3	Mantem atual

Figura 11 – Resultado hipotético de manutenção indicada na Análise 1 e Análise 2 (planilha Geral)

Fonte: Autoria própria

As duas primeiras colunas indicam a manutenção atual e indicada, respectivamente na Análise 1 e a duas colunas seguintes a manutenção atual e indicada, respectivamente, na Análise 2.

No caso da Figura 11, a indicação feita na Análise 1 foi adotada, como pode-se verificar na manutenção atual na Análise 2. Porém, isso pode não ocorrer, pois a manutenção atual na Análise 2 e a manutenção indicada na Análise 1 não são apresentadas em uma mesma coluna.

6.2.4 Custo

A planilha de Custo é abrangente a todo setor estudado da indústria, a mesma, realiza duas análises de custos, são essas: custo de manutenção

geral, e custo de manutenção dos MITs. Ela é composta por quatro tabelas e três gráficos, os quais vão ser apresentados neste capítulo. A primeira tabela pode ser vista na Figura 12, é responsável pela coleta dos valores destinados a manutenção geral (é importante salientar que os valores são todos hipotéticos).

CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO		
Variáveis	Valores 1	Valores 2
Pessoas de Manutenção	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Materiais	R\$ 5.000,00	R\$ 4.200,00
Contratação de Terceiros	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
Depreciação	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Perda de Faturamento	R\$ 2.800,00	R\$ 1.000,00
TOTAL	R\$ 15.300,00	R\$ 12.700,00

Figura 12 – Custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

Os custos apresentados na Figura 12 são os mesmos que já foram apresentados e explicados no capítulo 4.2.1 A Figura 13 a seguir apresenta o faturamento por hora, tanto no primeiro como segundo período de análise (é importante salientar que os valores são todos hipotéticos).

	Faturamento	Faturamento/Hora
Análise 1	R\$ 300.520,00	R\$ 2.504,33
Análise 2	R\$ 400.324,00	R\$ 3.281,34

Figura 13 – Custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

O faturamento deve ser indicado pelo gestor de manutenção. A Figura 14, mostra quanto do montante geral destinado a manutenção e destinado de forma direta aos MIT (é importante salientar que os valores são todos hipotéticos).

Análise	CM MIT	(CM Geral - CM MIT)	CM MIT/Total
Análise 1	R\$ 300,00	R\$ 15.000,00	1,96%
Análise 2	R\$ 480,00	R\$ 12.220,00	3,78%

Figura 14 – CM MIT/Total na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

A coluna, CM Total – CM MIT, é o valor total gasto com manutenção no setor de estudo, menos o que é gasto com os MITs de forma direta.

É importante salientar que, mesmo que uma indústria tenha em uma situação hipotética apenas gastos com manutenção nos MIT, o valor da última coluna CM MIT/Total, não será 100%. Isso devido ao CM MIT ser apenas os custos destinados ao mesmo de forma direta, ou seja, apenas os custos que são pertinentes a cada máquina individualmente são somados nessa variável. Os custos gerais, tais como, custo de capital imobilizado, custo de setores que atuam de forma indireta, custo de depreciação e perda de faturamento não entram nessa conta. O CM Total é extraído da tabela apresentada na Figura 12 a qual envolve os custos diretos e indiretos.

A última tabela presente na planilha de Custo é apresentada na Figura 15 (é importante salientar que os valores são todos hipotéticos). A mesma apresenta apenas o resultado final do CMPF, o qual é formado pelas variáveis CTM (custo total de manutenção), e FE (faturamento da empresa).

CMPF	
Análise 1	5%
Análise 2	3%

Figura 15 – CMPF na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

A seguir serão apresentados os gráficos pertinentes à planilha de Custo, os quais foram gerados para facilitar a análise gerada na planilha. Na Figura 16 a seguir tem-se o gráfico de custo da manutenção.



Figura 16 – Gráfico de custo da manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
 Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 16, tem como propósito apresentar uma comparação entre o custo destinado a manutenção na Análise 1 e Análise 2. Os Valores 1 e Valores 2 são os valores de cada análise, respectivamente, onde os mesmos valores podem ser vistos em forma de tabela na Figura 12.

Na Figura 17 tem-se um gráfico em formato de pizza, que apresenta a relação entre os dados da Figura 14, gerando uma análise de forma visual dos mesmos.

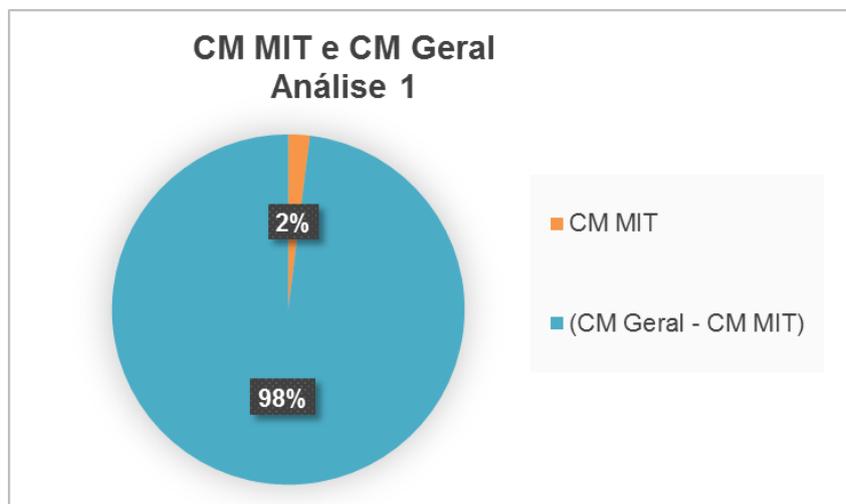


Figura 17 – Gráfico da relação entre CM MIT e CM Geral na Análise 1 (planilha Custo)
 Fonte: Autoria própria

É importante salientar que, um mesmo gráfico com os valores da Análise 2 é gerado na planilha de Custo, sendo esse o terceiro gráfico gerado, que foi citado anteriormente.

7. ESTUDO DE CASO

Para validação do trabalho foi realizado um estudo de caso, na Cia. Iguaçu, em Cornélio Procópio, Estado do Paraná, a mesma está entre as três maiores empresas do Brasil exportadoras de café solúvel.

A Cia. Iguaçu por permitir a realização desse estudo dentro de suas instalações acaba por fortalecer o laço entre indústria e universidade, o qual é fundamental para o desenvolvimento de novos procedimentos e tecnologias.

A companhia em questão possui uma grande variedade de setores de produção de café solúvel, primeiramente, foi definido qual desses seria escolhido para implementação deste trabalho, foram levados em conta alguns pontos para escolha do local de estudo, os quais são listados a seguir:

- Presença de MITs no processo produtivo.
- Atuação em malha isolada do setor, ou seja, sem ligação física com outro.
- Possibilidade de realizar levantamento físico dos MITs no setor.
- Possibilidade de acesso ao histórico de manutenção dos equipamentos presentes no setor.
- Possibilidade de acesso aos custos de manutenção destinados ao setor.

Depois de feita verificação dos possíveis setores que melhor se adequam aos pontos listados a cima, definiu-se o setor de produção do café solúvel aglomerado, mais especificamente o Aglomerador 1, para realização do estudo.

O setor em questão trabalha com técnicas de manutenção corretiva e preventiva nos seus motores elétricos, excluída a técnica de manutenção preditiva.

É importante salientar que a demanda de produção do setor do Aglomerador 1 é menor que a capacidade que o mesmo consegue produzir, sendo o assim, o setor não esta na maioria das vezes em sua capacidade máxima de produção e nem produzindo durante o ano todo.

O segundo passo após definir o setor, foi definir os períodos de análise, em uma discussão com os responsáveis da manutenção definiu-se que um tempo satisfatório para gerar uma boa análise de manutenção é de seis anos, isso pelo fato dos MITs serem altamente robustos e apresentarem falhas após longos períodos em funcionamento, isso se observadas condições adequadas a ele, e também devido as peculiaridades do funcionamento do Aglomerador 1. As datas definidas de análise iniciais e finais foram 01/06/2004 a 29/06/2010 e 30/06/2010 a 30/06/2016.

A seguir abordou-se à aquisição de dados e resultados gerados.

7.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

O processo de aquisição de dados foi dividido em três, primeiramente uma aquisição física (no local de instalação) dos MITs, posteriormente uma aquisição virtual (no *software* de gerenciamento de manutenção da companhia) e por fim a aquisição especializada de dados do setor (feita com um especialista no processo produtivo do Aglomerador 1).

Depois de realizada todas as aquisições, todos os dados necessários foram ser submetidos ao *software* para dessa forma realizar a análise proposta por esse trabalho de conclusão de curso e a partir da dessa, gerar os resultados.

7.1.1 Aquisição física de dados

A aquisição física consiste em fazer um levantamento em campo dos MITs presentes no Aglomerador 1, o parâmetro de controle utilizado foi o número de identificação (esse é usado pela empresa para localizar seus equipamentos dentro do seu *software* de gerenciamento), dos motores, para os que não tinham tal número anexado a ele, coletou-se os dados das placas de identificação do fabricante, esses dados podem fornecer alguma referência do mesmo, tornando possível a localização do MIT desejado dentro do *software* de registro de manutenção.

Na maioria dos motores o número de identificação foi localizado facilmente, porém, alguns desses números não foram possíveis de localizar, pelos mais diversos fatores.

No Aglomerador 1 foi levantado um total de 26 MITs ligados diretamente à produção do café solúvel, sendo que:

- Dezenove MITs: verificou-se o número de identificação no registro de empresa.
- Quatro MITs: foi possível por meio de outros parâmetros, localizar os dados de manutenção no registro da companhia.
- Três MITs: não foi possível coletar nenhum parâmetro que possibilitou encontrar algum dado de registro de manutenção.

A seguir na Figura 18 tem-se uma tabela de identificação de cada motor, sendo a primeira coluna o número do registro do mesmo na empresa, a segunda o número associado à contagem do mesmo no processo produtivo, e por fim, a terceira apresenta uma breve descrição da atuação do mesmo.

Nº Registro	Nº Contagem	Descrição do Motor
S/ Registro	(1.1)	Valvula rotativa entrada 1
S/ Registro	(1.2)	Valvula rotativa entrada 2
S/ Registro	(1.3)	Valvula rotativa entrada 3
7144	(2.1)	Exaustor
8820	(3.1)	Vibrador 1
850134	(4.1)	Rosca alimentação
8769	(5.1)	Moinho aglomerador
S/ Registro	(6.1)	Rotativa Calha
850178	(7.1)	Ventilador combustão
850167	(8.1)	Ventilador ar de processo câmara
850241	(9.1)	Exaustor silo ciclone
850175	(10.1)	Valvula rotativa ciclone 1
850727	(10.2)	Valvula rotativa ciclone 2
850728	(11.1)	Vibrador leito fluidizado 1
850186	(11.2)	Vibrador leito fluidizado 2
850190	(12.1)	Ventilador 1 (quente)
850198	(12.2)	Ventilador 2 (quente)
850219	(13.1)	Ventilador 3 (frio)
9664	(14.1)	Peneira rotex
S/ Registro	(15.1)	Vibrador rotex 1
S/ Registro	(15.2)	Vibrador rotex 2
850255	(16.1)	Rotativa linha de finos
S/ Registro	(17.1)	Rotativa linha de grossos
850336	(18.1)	Bomba água gelada 1
850337	(18.2)	Bomba água gelada 2
850325	(19.1)	Compressor água gelada

Figura 18 – Tabela de registro dos motores do Aglomerador 1.
Fonte: Autoria própria

Pode-se ver que sete motores não tem registro, sendo que quatro deles, os quais não estão grifados de amarelo, possuem dados de manutenção associados possíveis de localizar pela descrição deles, já os que estão sem registro e grifados, correspondem àqueles três que não foi possível coletar nenhuma informação.

Os MITs que não tiveram dados de manutenção vinculados a eles se deve ao fato de não terem seu registro conectado ainda ao *software* da companhia. Tal falta de informação, segundo os responsáveis, é dada por dois motivos: os equipamentos são novos no setor (logo, esses tem poucas horas de funcionamento) e ainda não sofreram atividade de manutenção. Sendo assim, devido aos dois motivos apresentados, a ausência destes equipamentos não ira impactar de forma grave na análise.

7.1.2 Aquisição virtual de dados

Depois de feita a aquisição física dos dados, levantou-se o tipo de técnica de manutenção e as variáveis que compõe os indicadores em cada um dos MITs no *software* da empresa. Quanto à técnica de manutenção, o *software* fornecia a mesma de maneira clara, sendo fácil a aquisição.

Quanto as variáveis, a maioria foi possível de encontrar facilmente mediante análise no *software*, com exceção das variáveis VC (valor de compra) e CTM (custo total de manutenção).

A primeira, VC, teve sua dificuldade devido ao fato de que os MITs mais antigos não tinham nota fiscal vinculada ao seu registro. Sendo assim, foi feito um levantamento com base nas características e ano de compra do motor, e mediante essas informações realizou-se uma pesquisa do preço do mesmo na época de aquisição.

A segunda variável, CTM, como já foi apresentada anteriormente no capítulo 4.2.1, é composta pelos custos de pessoal, material, contratação de terceiros, depreciação e perda de faturamento, o problema aqui se deve a não haver registro dos dois últimos custos (depreciação e perda de faturamento), que compõe a variável. Desse modo, como feito em uma análise mais tradicional, o CTM foi calculado com base na soma dos três primeiros custos apenas (pessoal, material e contratação de terceiros).

Nota: o *software* de registro da companhia permite fazer uma separação setorial dos gastos com manutenção que compõe o CTM, portanto, todos os valores que compõe esse são proporcionais ao Aglomerador 1, o que é muito importante para análise desse trabalho.

7.1.3 Aquisição especializada de dados

Por fim, foi feita a análise de criticidade, definição dos valores de PMA (produtividade mínima aceita) e NCMA (número de intervenções corretivas máximas aceitas) no período de análise e o tipo demanda do setor.

Para realizar tal análise foi necessário o contato com um especialista no processo produtivo do Aglomerador 1. Esse respondeu ao questionário de criticidade de cada um dos MITs e definiu o valor de PMA e NCMA. Foi adotado um valor fixo de PMA e NCMA para todos os motores no setor, sendo esses iguais a 100% e 36 (em seis anos), respectivamente.

Os altos valores de PMA e NCMA, devem-se ao fato que a produção do setor do Aglomerador 1 é facilmente administrada de acordo com a demanda.

Cabe salientar que o setor sempre produziu a demanda esperada segundo o especialista. Por tanto, não se aceita um valor menor que 100% de produtividade, apesar de haver uma tolerância alta a intervenções corretivas, pelo fato de não impactarem gravemente no alcance da demanda.

7.2 RESULTADOS GERADOS

Para apresentação dos resultados vamos dividir os mesmos em resultados gerais, dos MITs e de custos.

7.2.1 Resultados gerais

Os resultados gerados por meio da análise geral são apresentados a seguir, primeiramente tem-se a Figura 19 a qual apresenta o resultado da análise geral da situação da manutenção.

Análise geral da situação da manutenção											
MIT	Criticidade	CMVR 1	CMVR 2	Prod. 1	Prod. 2	NC 1	NC 2	Baixa	Media	PMA	NCMA
7144	7,00	13,85%	13,64%	100,00%	100,00%	0	1	2	4	100,00%	36
8820	2,67	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850134	6,67	29,08%	39,79%	100,00%	100,00%	3	3	2	4	100,00%	36
8769	11,33	160,85%	101,94%	100,00%	100,00%	18	4	2	4	100,00%	36
(6.1)	6,67	0,00%	3,03%	100,00%	100,00%	0	1	2	4	100,00%	36
850178	10,67	38,68%	158,93%	100,00%	100,00%	1	0	2	4	100,00%	36
850167	10,67	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850241	7,33	18,08%	15,61%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850175	5,67	2,65%	26,64%	100,00%	100,00%	1	1	2	4	100,00%	36
850727	5,67	0,00%	2,47%	100,00%	100,00%	0	4	2	4	100,00%	36
850728	5,33	7,28%	5,12%	100,00%	100,00%	4	2	2	4	100,00%	36
850186	5,33	34,84%	20,95%	100,00%	100,00%	14	3	2	4	100,00%	36
850190	2,67	47,48%	83,70%	100,00%	100,00%	3	1	2	4	100,00%	36
850198	2,67	48,21%	54,15%	100,00%	100,00%	3	1	2	4	100,00%	36
850219	2,67	24,42%	24,93%	100,00%	100,00%	5	1	2	4	100,00%	36
9664	5,67	74,74%	111,07%	100,00%	100,00%	1	1	2	4	100,00%	36
(15.1)	1,67	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
(15.2)	1,67	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850255	2,00	132,04%	91,53%	100,00%	100,00%	16	3	2	4	100,00%	36
(17.1)	1,67	0,00%	5,17%	100,00%	100,00%	0	3	2	4	100,00%	36
850336	2,33	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850337	0,67	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0	0	2	4	100,00%	36
850325	2,67	23,30%	26,27%	100,00%	100,00%	4	0	2	4	100,00%	36

Figura 19 – Resultado da análise geral da situação da manutenção (planilha Geral)
Fonte: Autoria própria

A primeira coluna da tabela presente na Figura 19, coluna MIT, apresenta o número do motor no registro da companhia ou o número de contagem (caso esse não tenha registro da companhia) como já foi apresentando anteriormente na Figura 18.

Pode-se verificar que as colunas de CMVR 1, CMVR 2, Prod. 1, Prod. 2, NC 1 e NC 2, variam a sua cor de acordo com o resultado apresentando em cada célula, sendo quanto pior o resultado mais vermelho e quanto melhor mais verde, em um valor intermediário a célula fica com a cor próxima do amarelo. A cor da célula de Criticidade por sua vez, varia conforme a criticidade, baixa, média ou alta, sendo a cor verde, amarela ou vermelha respectivamente. É importante notar que a produtividade em ambos os períodos de análise é 100%, conforme já foi discutido anteriormente.

Na Figura 20, tem-se o resultado da situação geral dos indicadores na Análise 1 e Análise 2, a mesma apresenta a piora (cédulas em vermelho) dos

indicadores EM, TMR e CMVR na Análise 2 em relação à Análise 1 e a melhora (cédulas em verde) dos indicadores TMEF e DF.

Situação geral dos indicadores			
Análise 1		Análise 2	
EM	77,55%	EM	69,42%
TMEF (horas)	1367,19	TMEF (horas)	1563,91
TMR (horas)	7,81	TMR (horas)	13,45
DF	89,18%	DF	89,51%
CMVR	28,50%	CMVR	34,13%
Produtividade	100,00%	Produtividade	100,00%

Figura 20 – Resultado da análise geral dos indicadores (planilha Geral)
Fonte: Aatoria própria

A melhora e piora dos indicadores da Figura 20 são muito sutis, como se pode ver, porém, servem de parâmetro para tomada de decisão de alguma ação de manutenção e controle da mesma. A Produtividade não varia devido à demanda do Aglomerador 1 ser sempre suprida e todos os MIT ter a mesma igual a 100% conforme a Figura 19 apresentada anteriormente.

Na Figura 21 temos o período de análise e o tipo de demanda, como já abordado anteriormente a mesma é fixa e sempre alcançada pela produção.

Hoje	18/10/2016	Setor tem uma demanda fixa por período?					0	
Período	Inicial	Final	Dias	Anos	SIM - 0	Variáveis	P1	P2
Análise 1	01/06/04	29/06/10	2219	6		NÃO - 1	Produzido	100%
Análise 2	30/06/10	30/06/16	2192	6		Demanda	100%	100%

Figura 21 – Definição dos períodos de análise e resultado do tipo de demanda (planilha Geral)
Fonte: Aatoria própria

Na Figura 22 por sua vez, tem-se todos os resultados da análise geral da situação da manutenção em forma gráfica, sendo o eixo x composto pelo número correspondente aos motores (conforme a Figura 19 apresentada anteriormente) e o eixo y pelos valores associados a cada quesito analisado. O gráfico encontra-se com seu eixo x (MIT) na vertical devido a seu tamanho.

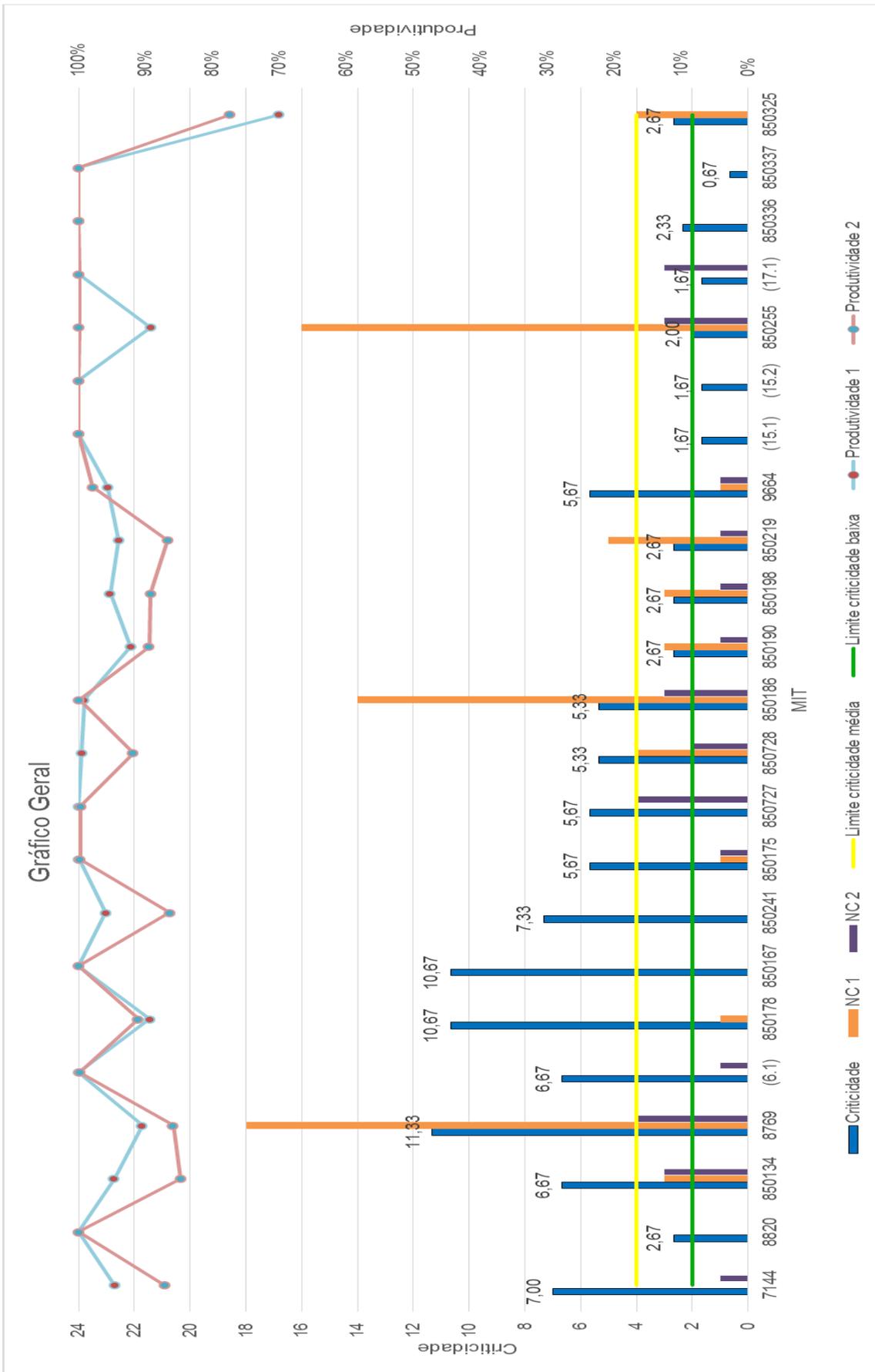


Figura 22 – Resultado do gráfico geral (planilha Geral)
 Fonte: Autoria própria

A análise gráfica gerada pelo gráfico da Figura 22 é muito válida para poder observar de maneira clara e rápida os valores que destoam dos demais.

Já a Figura 23 apresenta o resultado da manutenção indicada conforme a lógica apresentada no capítulo 5.2.1, na mesma podemos observar que as duas primeiras colunas indicam a manutenção atual e indicada, respectivamente na Análise 1 e a duas colunas seguintes a manutenção atual e indicada, respectivamente, na Análise 2.

MIT	Resultados			
	M. Atual 1	M. Indicada 1	M. Atual 2	M. Indicada 2
7144	2	Mantem atual	2	M. Preditiva
8820	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850134	2	M. Preditiva	2	M. Preditiva
8769	2	M. Preditiva	2	M. Preditiva
(6.1)	1	Mantem atual	1	M. Preventiva
850178	2	M. Preditiva	2	Mantem atual
850167	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850241	2	Mantem atual	2	Mantem atual
850175	1	M. Preventiva	1	M. Preventiva
850727	1	Mantem atual	1	M. Preventiva
850728	1	M. Preventiva	1	M. Preventiva
850186	1	M. Preventiva	1	M. Preventiva
850190	2	Mantem atual	2	Mantem atual
850198	2	Mantem atual	2	Mantem atual
850219	2	Mantem atual	2	Mantem atual
9664	2	M. Preditiva	2	M. Preditiva
(15.1)	1	Mantem atual	1	Mantem atual
(15.2)	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850255	1	Mantem atual	1	Mantem atual
(17.1)	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850336	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850337	1	Mantem atual	1	Mantem atual
850325	2	Mantem atual	2	Mantem atual

Figura 23 – Resultado de manutenção indicada na Análise 1 e Análise 2 (planilha Geral)
Fonte: Autoria própria

Quando a manutenção indicada é diferente da atual a célula muda de cor, se a indicação for mudar para uma técnica preventiva a cor altera para

amarelo claro, caso a indicação seja introduzir uma técnica preditiva a cédula muda para vermelho claro.

7.2.2 Resultados dos MITs

Para apresentar análise do MIT, como a mesma é feita de forma individual, apenas o resultado de um dos MITs será apresentado. É importante salientar que as informações mais importantes de cada motor já foram apresentadas no capítulo 8.2.1. A visualização dessa planilha só é requisitada pelo gerente de manutenção quando o mesmo precisa de uma informação mais detalhada e específica de um MIT. Para essa demonstração selecionou-se o motor 850190, que aciona o ventilador 1 de ar quente da planta.

Na Figura 24, tem-se a classificação de criticidade do motor, a mesma teve sua análise baseada na resposta do especialista do processo produtivo, como já mencionado anteriormente.

MIT1				NÃO	PARCIAL	TOTAL	RESULTADO
Equipamento: 12.1							
Criticidade: Media							
SEGURANÇA NO TRABALHO E MEIO AMBIENTE							
A falha no equipamento afeta a integridade física do homem?				■	■	■	0
A falha do equipamento afeta o meio ambiente externo?				■	■	■	0
A falha do equipamento afeta o meio ambiente interno?				■	■	■	0
Pontuação 1				0			
QUALIDADE							
A falha no equipamento afeta a imagem da empresa junto ao cliente?				■	■	■	1
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto acabado?				■	■	■	1
A falha do equipamento afeta a qualidade do produto durante o processo?				■	■	■	1
Pontuação 2				3			
OPERACIONALIDADE							
O equipamento é exigido 24 h por dia?				■	■	■	2
O equipamento possui stand-by?				■	■	■	2
A falha do equipamento provoca interrupção do processo produtivo?				■	■	■	1
Pontuação 3				5			
PONTUAÇÃO FINAL				2,67			

Figura 24 – Resultado da classificação de criticidade (planilha MIT - 850190)

Fonte: Autoria própria

Podemos observar que o motor teve sua pontuação final igual a 2,67, sendo considerada uma criticidade média. Tendo sua criticidade mais aguda quando voltada para análise de operacionalidade.

A Figura 25 por sua vez apresenta os indicadores, as variáveis que compõe esses e a técnica de manutenção utilizada no MIT em questão tanto na Análise 1 como na Análise 2.

Análise 1			
Variáveis		Indicadores MIT1	
PA (dias)	2219	EM	64,19%
HD	49261:56:27	TMEF (horas)	15832:00:00
NC	3	TMR (horas)	266:16:14
HIM	3994:03:33	DF	89,18%
HT	47496:00:00	CMVR	47,48%
HG	53256:00:00	Produtividade	100,00%
CME	1.587,86	Manutenção Implementada	2
CMEA	1587,86	1 - Manutenção Corretiva	
VC	557,32	2 - Manutenção Preventiva	
HMP	2563:47:25	3 - Manutenção Preditiva	
NI	15		
Análise 2			
Variáveis		Indicadores MIT1	
PA (dias)	2192	EM	99,78%
HD	47070:47:00	TMEF (horas)	47088:00:00
NC	1	TMR (horas)	276:51:39
HIM	5537:13:00	DF	89,51%
HT	47088:00:00	CMVR	83,70%
HG	52608:00:00	Produtividade	100,00%
CME	4.009,57	Manutenção Implementada	2
CMEA	5597,43	1 - Manutenção Corretiva	
VC	557,32	2 - Manutenção Preventiva	
HMP	5525:13:00	3 - Manutenção Preditiva	
NI	20		

Figura 25 – Resultado da análise dos indicadores na análise 1 e análise 2 (planilha MIT - 850190)

Fonte: Autoria própria

O indicador de produtividade é máximo devido ao setor trabalhar com demanda fixa e alcançar sempre essa. Pode-se observar uma melhora significativa no indicador de EM (eficiência de manutenção), TMEF (tempo médio entre falhas) o indicador DF (disponibilidade física) melhorou, mas pode-se considerar que de maneira insignificante. Os demais (TMR, CMVR) tiveram uma piora, porém, o que merece destaque é o CMVR (Custo de manutenção por valor de reposição), o motivo de tal aumento deve ser analisado pelo responsável pela manutenção.

7.2.3 Resultados de custos

Para apresentar o resultado da análise de custos referentes ao Aglomerador 1 temos primeiramente a Figura 26. Na mesma, podemos ver como já comentando anteriormente que os custos de depreciação e perda de faturamento não tiveram a possibilidade de serem coletados. Além disso, deve-se ratificar que o custo é proporcional ao Aglomerador 1, ou seja os valores são voltados apenas para o que foi destinado ao mesmo nos períodos de análise.

CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO PROPORCIONAL AO AG1				
Variáveis	Valores 1		Valores 2	
Pessoas de Manutenção	R\$	285.081,19	R\$	359.638,58
Materiais	R\$	377.546,84	R\$	395.203,51
Contratação de Terceiros	R\$	195.046,22	R\$	68.960,43
Depreciação	R\$	-	R\$	-
Perda de Faturamento	R\$	-	R\$	-
TOTAL	R\$	857.674,25	R\$	823.802,52

Figura 26 – Resultado do custo total com manutenção proporcional ao Aglomerador 1, na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)

Fonte: Autoria própria

Ainda sobre a Figura 26, tem-se que Valores 1 correspondem aos coletados na Análise 1 e os Valores 2 a coletados na Análise 2.

A Figura 27 a seguir apresenta o faturamento total da companhia (correspondente a toda a fábrica) e com base nesse o faturamento por hora, em ambos os períodos de análise, é importante salientar que os valores são uma aproximação, sendo baseados em dados fornecidos pela empresa.

	Faturamento Total	Faturamento/Hora
Análise 1	R\$ 1.613.883.500,00	R\$ 30.304,26
Análise 2	R\$ 2.058.073.500,00	R\$ 39.120,92

Figura 27 – Resultado do custo total com manutenção na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)

Fonte: Autoria própria

A Figura 28 apresenta quanto do montante geral destinado à manutenção no Aglomerador 1 é destinado de forma direta aos MITs.

Análise	CM MIT	(CM Geral - CM MIT)	CM MIT/Total
Análise 1	R\$ 60.967,75	R\$ 796.706,50	7,11%
Análise 2	R\$ 56.915,00	R\$ 766.887,52	6,91%

Figura 28 – Resultado do CM MIT/Total na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)

Fonte: Autoria própria

Por fim, a Figura 29, a mesma, apresenta apenas o resultado final do CMPF, o qual é formado pelas variáveis CTM (custo total de manutenção), e FE (faturamento da empresa).

CMPF	
Análise 1	0,0531%
Análise 2	0,0400%

Figura 29 – Resultado do CMPF na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)

Fonte: Autoria própria

Deve-se ratificar que o CTM é voltado apenas para o Aglomerador 1, por isso um valor tão pequeno em relação ao FE, que por sua vez é relacionado a toda a empresa.

A seguir serão apresentados os gráficos gerados na planilha de Custo, os quais têm como objetivo facilitar a análise dos dados. Na Figura 30 a seguir tem-se o gráfico de custo da manutenção no Aglomerador 1.

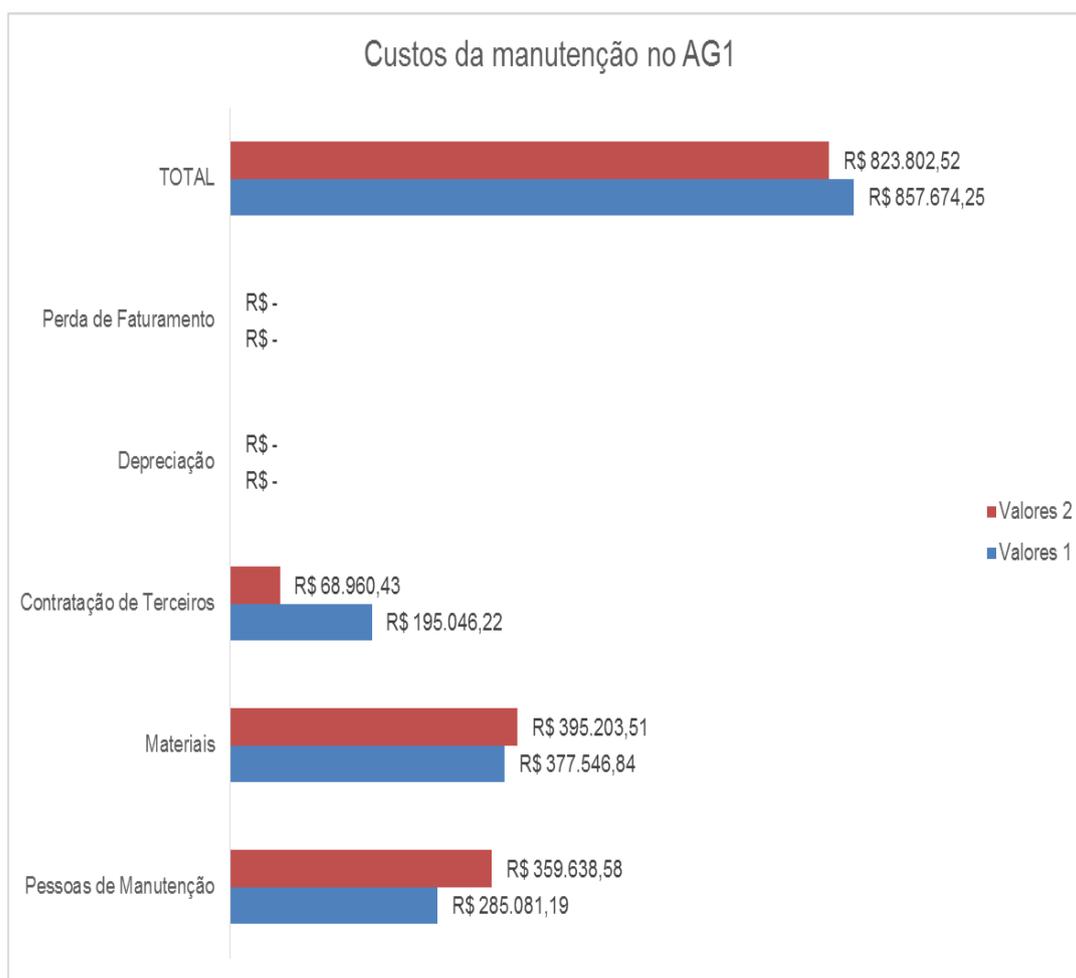


Figura 30 – Resultado do gráfico de custo da manutenção proporcional ao Aglomerador 1 na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 30 tem como propósito apresentar uma comparação entre os custos destinados à manutenção em cada análise. Os mesmos valores podem ser vistos em forma de tabela na Figura 25.

Na Figura 31 têm-se dois gráficos em formato de pizza, que apresentam a relação entre os dados da Figura 28, gerando uma análise visual dos mesmos.

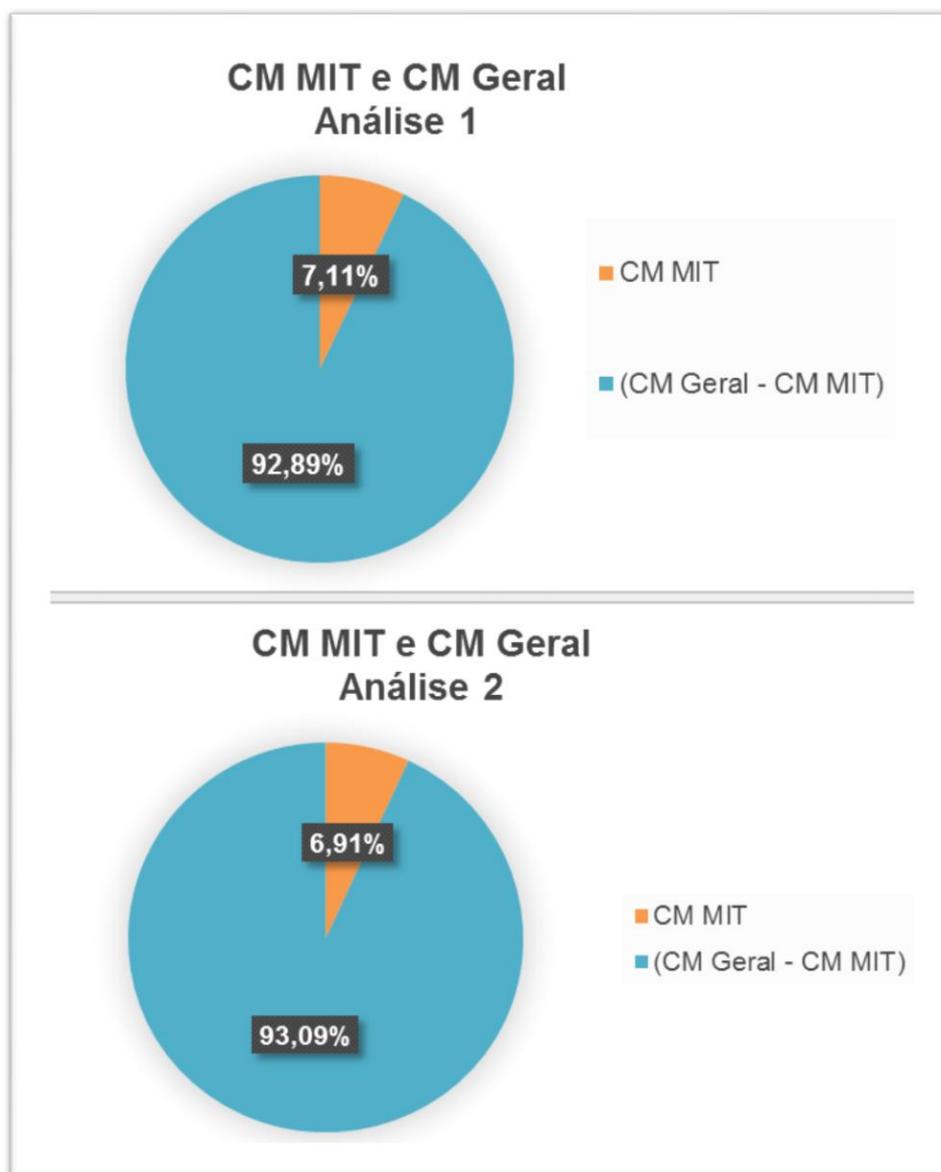


Figura 31 – Resultado do gráfico da relação entre CM MIT e CM Geral na Análise 1 e Análise 2 (planilha Custo)
Fonte: Autoria própria

Os gráficos da Figura 31, mostram o quanto do total de verba destinada para manutenção do Aglomerador 1, foi usada de forma direta aos MITs, o gráfico superior na Análise 1 e o inferior na Análise 2.

8. CONCLUSÃO

Conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, pelo fato de ter-se completado tudo que foi proposto no mesmo.

Primeiramente a ferramenta de manutenção foi desenvolvida e implementada em uma interface gráfica, simulou-se o funcionamento da mesma com dados hipotéticos e realizaram-se os ajustes necessários.

Em seguida, submeteu a mesma a dados reais dentro da Cia. Iguazu, os dados foram coletados no registro histórico de manutenção da companhia, analisados e adaptados para realidade da ferramenta desenvolvida.

Por fim, pode-se ver a situação atual da manutenção dos MITs e a otimização proposta pela ferramenta, analisando os resultados verificou-se que a maioria dos MITs atua com poucas falhas e tem sua manutenção dada como satisfatória, porém, alguns motores têm sua manutenção insatisfatória, sendo válida a investigação do que motivou esse resultado.

A proposta de otimização de investir em uma técnica de manutenção que traga um melhor controle de falhas nos MITs, pode ser uma saída para tornar o funcionamento desses satisfatórios.

Temos a seguir algumas considerações necessárias, sabe-se que para ser possível realizar uma boa análise, precisa-se que os dados sejam o mais fieis possíveis com a realidade. Por ter sido feita uma análise com dados anteriores a implementação da ferramenta, alguns não estavam no perfil proposto por ela, sendo assim, foi preciso realizar uma adaptação, e outros dados (custo com depreciação e perda de faturamento da produção) não existiam no registro de dados da indústria em questão.

Assim, para ter-se uma conclusão definitiva, a melhor maneira é implementar a ferramenta e realizar a coleta de dados *online*, ou seja, no momento da geração desses, fazer a aquisição e aplicação, e posteriormente comparar o resultado com os gerados até aqui. Porém, como os resultados de análise e otimização são conclusivos apenas após um longo período de aquisição de dados, não foi possível realizar a análise de tal maneira, sendo necessário recorrer apenas aos dados históricos de manutenção.

Porém, independente dessa questão citada à cima, como todo escopo da ferramenta foi feito com base na literatura mais aceita pela manutenção atual, a maioria dos dados estavam no formato ideal para análise, o que torna a mesma válida, sendo possível concluirmos que a proposta desse trabalho de conclusão de curso foi atingida, gerando uma ferramenta análise que fornece um maior poder de decisão ao gestor.

Como indicação de trabalhos futuros é válida a complementação da análise voltada para os demais equipamentos dentro do processo industrial, realizando dessa forma uma análise mais completa e de maior utilidade para a indústria. Cabe também, a realização de uma análise *online*, ou seja, a coletada de dados será realizada no momento da ação de manutenção, desse modo, erros de aquisição de dados históricos serão sanados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **A situação da manutenção no Brasil** - Documento Nacional 2013. 28º Congresso Brasileiro de Manutenção, v. 1, p. 1–18, set. 2013.

BACCARINI, L. M. R. **Detecção e Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução**. 207 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2005.

BARROS, B. F.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2011. 176 p.

BELLINI, A.; FILIPPETTI, F.; TASSONI, C.; CAPOLINO, G.-A. Advances in diagnostic techniques for induction machines. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 55, n. 12, p. 4109–4126, dez. 2008.

BERGAMO, V. F. **Confiabilidade Básica e Prática**. São Paulo: E. Blucher, 1997.

DRUMMOND, T. L.; GOEDEL, A.; BRONIERA JUNIOR, P.; GRACIOLA, C. L.; MIZUYAMA, D. **Uma Abordagem Neural no Monitoramento Preditivo de Temperatura num Motor de Indução Trifásico**. In: XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2013, Fortaleza - CE, 2013, p. 1-6.

FILHO, O. R. C. Aplicações termográficas na manutenção. **Onde normalmente erramos!**. Seção Técnica. Nova Manutenção y Qualidade, v. 62, p. 28-32. 2007.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier 2009.

GOEDEL, A. **Estimador neural de velocidade para motores de indução trifásicos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Elétrica, São Carlos, 2007.

GONGORA, W. **Uma abordagem neural no diagnóstico de falhas em rolamentos de motores de indução trifásicos**. 97 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Cornélio Procópio-PR, 2013.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark ABRAMAN, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark ABRAMAN, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark ABRAMAN, 2002.

KOWALSKI, C. T.; ORLOWSKA-KOWALSKA, T. Neural networks application for induction motor faults diagnosis. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 63, n. 3-5, p. 435n– 448, 2003.

SINGH, G.; KAZAZ, S. A. S. A. Induction machine drive condition monitoring and diagnostic research survey. **Electric Power Systems Research**, v. 64, n. 2, p. 145–158, 2003.

SOUZA, G. F. M.; FALCONE, M. G. **Manutenção de motores elétricos de indução**. In: PECE – Programa de Educação Continuada/ EQ-023 Manutenção para a Qualidade Total, 2004, São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004, p. 1-9.

VIANA, H. R. G., **PCM, Planejamento e Controle da Manutenção**, ed. Qualitymark, 2002.