

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LAÍS LOBATO SANTOS

**O USO DE FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DA
CONFIABILIDADE DE AGITADORES NA ÁREA DA PRECIPITAÇÃO DA
ALUMAR**

São Luís

2015

LAÍS LOBATO SANTOS

**O USO DE FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DA
CONFIABILIDADE DE AGITADORES NA ÁREA DA PRECIPITAÇÃO DA
ALUMAR**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Saulo José Agostini Oliveira

São Luís

2015

Santos, Laís Lobato.

O uso de ferramentas de manutenção para o aumento da confiabilidade de agitadores na área da precipitação da ALUMAR / Laís Lobato Santos.– São Luís, 2015.

92 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Esp. Saulo José Agostini Oliveira.

1.Manutenção. 2.FMEA. 3.MTBF. 4.MTTR. 5.Disponibilidade. I.Título

CDU: 621.7-7

LAÍS LOBATO SANTOS

**O USO DE FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DA
CONFIABILIDADE DE AGITADORES NA ÁREA DA PRECIPITAÇÃO DA
ALUMAR**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Saulo José Agostini Oliveira

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Saulo José Agostini Oliveira (Orientador)

Especialista em Engenharia de Manutenção e Gerenciamento de Projetos

Prof. Msc. Paulo Roberto Campos Flecha Ribeiro Filho

Mestre em Engenharia Mecânica

Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Msc. Jose de Ribamar Ferreira Barros Junior

Mestre em Engenharia de Materiais

Instituto Federal do Maranhão

Aos meus pais, por todo amor, dedicação e ensinamento durante todos os anos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por Ele ser o começo de tudo, por sempre me acompanhar e iluminar meus caminhos.

Ao meu pai Luís, por ser o meu maior ídolo nessa profissão que escolhi seguir, por todos seus ensinamentos, apoio, carinho e amor.

A minha mãe Ana, por seu amor imensurável, por ser meu braço mais forte me impulsionando a sempre seguir em frente, por todos os seus votos de sucesso; a ela os meus eternos agradecimentos.

Aos meus irmãos, que são parte de mim, agradeço por todo amor recebido.

As minhas avós Conceição e Luíza, por todo carinho, orações e torcida.

Ao meu namorado Felipe, por seu amor, companheirismo e apoio a minha vida profissional.

Aos meus familiares e amigos, que mesmo distante nesse período de estudo, estiveram comigo em grandes momentos da minha vida.

A Cemec e a Alumar, que foram as duas empresas que me deram a oportunidade de vivenciar na prática os ensinamentos do curso.

Ao time de Engenharia de Manutenção da Precipitação, por acreditar que eu poderia desenvolver um bom trabalho, meu muito obrigado! Vocês são feras!

Por fim, gostaria de agradecer aos meus colegas de profissão, que trabalham de forma honesta, aplicando seus conhecimentos para contribuir para a evolução da sociedade.

“Sorte é quando a preparação encontra a oportunidade.”

Letterman

RESUMO

Estuda-se o caso de uma das maiores empresas de alumínio do mundo, altamente competitiva no mercado e que está sempre incentivando seus funcionários a proporem sugestões de melhorias nos setores de tecnologia, processos e manutenção. Buscando otimizar as manutenções de um grupo de equipamento específico, os precipitadores, o principal objetivo deste trabalho é utilizar de ferramentas da engenharia de manutenção e confiabilidade como Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA), calculo do MTBF, MTTR e disponibilidade para acompanhar e descobrir qual o tipo de falha mais comum do grupo de ativos, quais ativos sofreram dessa falha mais comum e a partir de dados coletados implantar melhorias rápidas com a própria equipe de manutenção da área e relatar de forma estatística e pontual à equipe de engenharia de confiabilidade da empresa o elemento a ser trabalhado, a fim de reduzir as falhas do equipamento, aumentar a produção e consequentemente a lucratividade.

Palavras-chave: Manutenção, FMEA, MTBF, MTTR e disponibilidade.

ABSTRACT

This paper studies the case of one of the biggest aluminium companies in the world, highly competitive in the market and that is always incentivising employees to propose suggestions for improvements in the fields of technology, processes and maintenance. Searching to optimize maintenances of a specific group of equipment, the precipitators, the main goal of this research is to use tools from maintenance and reliability engineering like the Modus Analysis and the Effect of Failure, calculus of MTBF, MTTR and availability, to accompany and find out what is the most common kind of failure in the group of actives, which actives have suffered from this most common failure and from the collected data develop fast improvements with the area maintenance crew and relate in a statistic and punctual manner to the reliability engineering team of the company, the element to be worked with, focusing on the equipment failure reduction, enhancement of production and, consequently, the profit.

Keywords: Maintenance, FMEA, MTBF, MTTR and availability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Disponibilidade- Diagrama de Tempos.....	27
Figura 02	Definição dos termos e fluxograma de preenchimento do Formulário FMEA.....	30
Figura 03	Foto Alumina.....	37
Figura 04	Foto aérea Refinaria Alumar.....	38
Figura 05	Foto aérea Porto Alumar.....	38
Figura 06	Layout de Precipitadores e Trocadores de calor da Unidade I.....	40
Figura 07	Layout de Precipitadores e Trocadores de calor da Unidade II.....	40
Figura 08	Esquemático de um Precipitador.....	41
Figura 09:	Tabela de Overhaul dos tanques precipitadores.....	43
Figura 10:	Tela do sistema de acesso ao anexo de manutenção.....	45
Tabela 01	Comparativo do período de manutenção do plano antigo e do plano revisado.....	46
Figura 11:	Foto da Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45.....	47
Figura 12	Detalhamento do plano de lubrificação dos Precipitadores.....	48
Figura 13:	Detalhamento de parte quadro FMEA.....	49
Figura 14	Imagem da tela do Software.....	50
Figura 15	Quadro de horas da Planilha de Acompanhamento dos Agitadores.....	50
Figura 16	Relatório de Turno.....	51
Figura 17	Quadro de horas da Planilha de Acompanhamento dos Agitadores com comentários explicativos de eventuais paradas.....	52
Figura 18:	Cortes do quadro de cadastro de dados de cada agitador.....	53
Figura 19	Cortes da tabela de falhas dos agitadores.....	53
Figura 20	Gráfico de MTBF dos Agitadores da Unidade I.....	54
Figura 21	Gráfico de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014.....	55
Figura 22	Descritivo e legenda de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014.	55
Figura 23	Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014.....	56
Figura 24	Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de 2014.....	56
Figura 25	Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de	

	2014.....	57
Figura 26	Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de 2014.....	57
Figura 27	Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Agosto a Dezembro de 2014.....	58
Figura 28	Gráfico de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	58
Figura 29	Descritivo e legenda de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	59
Figura 30	Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	59
Figura 31	Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	60
Figura 32	Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	60
Figura 33	Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015.....	61
Figura 34	Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Janeiro a Maio de 2015.....	61
Figura 35	Gráfico de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015.....	62
Figura 36	Descritivo e legenda de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015...	62
Figura 37	Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015.....	63
Figura 38	Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Junho a Outubro de 2015...	63
Figura 39	Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de junho a Outubro de 2015...	64
Figura 40	Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Junho a Outubro de 2015.....	64
Figura 41	Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Junho a Outubro de 2015.....	65
Figura 42	Imagem do acoplamento AT-90 Antares.....	67
Figura 43	(a) Imagem ilustrando remoção radial do elemento elástico; (b) Imagem ilustrando a remoção do flange do acoplamento lado redutor; (c) Imagem ilustrando a remoção de parafusos, da tampa e retentor.....	68
Figura 44	Imagem do retentor de vedação de nitrílica inteiriço.....	68
Figura 45:	(a) e (b) imagens do retentor bipartido com vedação de viton.....	68
Figura 46:	Imagem do quadro de gerenciamento de laudos de preditiva dos agitadores.	69

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1:	INSPEÇÃO PREVENTIVA DE 7 DIAS (ANTIGA)	75
ANEXO 2:	INSPEÇÃO PREVENTIVA DE 7 DIAS (REVISADA)	76
ANEXO 3:	PREVENTIVA MECÂNICA DE 504 DIAS (ANTIGA)	78
ANEXO 4:	PREVENTIVA MECÂNICA DE 504 DIAS (REVISADA)	80
ANEXO 5:	QUADRO FMEA	83
ANEXO 6:	PLANILHA “FALHA MENSAL”	87
ANEXO 7:	PLANILHA DE GRÁFICOS (MTBF E MTTR)	88
ANEXO 8:	CHECKLIST NA OFICINA CENTRAL	89

LISTA DE SIGLAS

REX - Reliability Excellence

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise de Modo e Efeito da Falha)

OM – Ordem de Manutenção

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTR - Mean Time to Repair

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos do Estudo.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	Organização do Trabalho.....	16
2	MANUTENÇÃO.....	17
2.1	Tipos de Manutenção.....	17
2.1.1	Manutenção Corretiva Não Planejada.....	18
2.1.2	Manutenção Corretiva Planejada.....	18
2.1.3	Manutenção Preventiva.....	19
2.1.4	Manutenção Preditiva.....	20
2.1.5	Manutenção Detectiva.....	21
2.1.6	Engenharia de Manutenção.....	21
2.2	Planos de Manutenção.....	22
2.2.1	Plano de Inspeções Visuais.....	23
2.2.2	Rotas de Lubrificação.....	23
2.2.3	Manutenção de troca de itens de desgaste.....	24
2.2.4	Plano Preventivo.....	24
2.2.5	Plano Preditivo.....	24
2.3	Confiabilidade.....	25
2.3.1	Disponibilidade.....	26
2.3.2	Manutenabilidade.....	28
2.3.3	Ferramentas para o Aumento da Confiabilidade.....	29
2.3.3.1	Análise de Modo e Efeito de Falha – FMEA.....	29
2.3.3.1.1	Etapas para a Aplicação.....	30
2.3.3.1.1.1	Formulário FMEA.....	30
2.3.3.1.1.2	Planejamento.....	31
2.3.3.1.1.3	Análise da Falha em Potencial.....	31
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	Pesquisa de Campo.....	
4	ESTUDO DE CASO.....	37
4.1	Descrição da empresa.....	37

4.2	Descrição da área da precipitação.....	39
4.3	Descrição dos precipitadores.....	41
4.4	Otimizando os planos de manutenção.....	42
4.5	A estratégia de manutenção.....	46
4.6	Acompanhamento dos agitadores.....	49
4.7	Coleta de dados dos agitadores.....	54
4.8	Análise de dados dos agitadores.....	65
4.9	Sugestões de melhoria.....	67
5	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXOS.....	74

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial atual, as grandes indústrias se deparam com a diminuição da procura de seus produtos/serviços, bem como a redução de seu capital empregado em melhorias e no processo interno de produção, o que influencia também nas manutenções dos equipamentos. Dessa forma, rever as manutenções adotadas anteriormente e reformular a estratégia de manutenção tornou-se peça chave para manter a empresa no mercado de forma competitiva.

A empresa estudada em questão é o Consórcio de Alumínio do Maranhão, conhecido como Alumar, formado pelas empresas Alcoa, Rio Tinto Alcan e BHP Billiton. A Alumar, inaugurada em julho de 1984, desempenha um importante papel socioeconômico no estado, sendo reconhecida como o pólo industrial do Maranhão, com um dos maiores complexos do mundo de produção de alumina e chega a produzir mais de 3,5 toneladas por ano. A Refinaria é dividida em cinco partes: Digestão, Clarificação, Precipitação, Calcinação e Utilidades. E a área em que o estudo foi realizado é a Precipitação.

Na Precipitação, o processo é dividido em duas etapas: a precipitação propriamente dita e a clarificação. E tem como objetivo precipitar a alumina solubilizada, através do resfriamento do licor verde (Green liquor ou GLQ). Para isso, dentre tantos equipamentos que auxiliam nesta etapa do processo, tem-se como os principais os precipitadores, que precisam operar de forma contínua e eficaz.

Para explorar a performance máxima do equipamento conforme o projeto e garantir boa produtividade para a organização, buscou-se utilizar ferramentas da Manutenção Centrada na Confiabilidade para visualizar os tipos de falhas, analisá-las e tratá-las de forma pontual. Essas ferramentas auxiliam a aumentar a disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade e produtividade do sistema, com um custo adequado, preocupando-se com pessoas, segurança do trabalho e meio ambiente.

O ponto de partida da engenharia de manutenção para reformular a estratégia adotada no sistema e trabalhar com a manutenção centrada na confiabilidade foi acompanhar os planos de manutenções que estavam sendo utilizados e modificá-los caso necessário, além de incluir manutenções não realizadas até o momento, mas que são vistas como essenciais para o controle e aumento da vida útil do equipamento e seus componentes.

Mesmo com uma manutenção toda estruturada, incluindo a geração de Ordens de Serviço planejadas para corrigir potenciais problemas identificados pela inspeção, o que

otimiza o desempenho e a vida do equipamento, algumas falhas ainda acontecem devido ao trabalho severo que este ativo é submetido

A parada dos agitadores, por menor que seja o tempo, causa grandes transtornos operacionais que impactam em perda de produção e qualidade do produto. Daí viu-se a necessidade de conhecer todas as possíveis falhas dos agitadores, estudar o histórico das falhas, evidenciar a mais comum, contabilizando quantos agitadores falhariam dessa forma similar e, em seguida, conseguir apurar o tempo médio entre as falhas, o tempo médio de reparo e a disponibilidade do equipamento, para que a manutenção fosse centrada na confiabilidade do equipamento e desta forma, ter um maior controle do funcionamento do mesmo.

Ao utilizar essas ferramentas de confiabilidade conseguir-se-ia ter dados suficientes para entender qual parte do equipamento merece uma maior atenção. De imediato a engenharia de manutenção da própria área da Precipitação seria capaz de propor pequenas ações para serem realizadas e em paralelo, seria exposto ao setor de engenharia de confiabilidade da indústria o principal ponto a ser melhorado no equipamento, de forma que ao conhecer a principal causa de falha, este setor trabalharia com foco e maior precisão a fim de preveni-la ou minimizar as perdas decorrentes da mesma.

1.1 Objetivos do Estudo

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo utilizar de ferramentas de manutenção para a identificação, análise e tratamento de falhas, com base no histórico de horas de trabalho do equipamento, com consequente aumento de disponibilidade de forma a contribuir para o aumento da confiabilidade dos agitadores da área da Precipitação da Alumar.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral deste trabalho, fez-se necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- Identificar as possíveis falhas dos agitadores, bem como a mais recorrente;

- Rever os planos de manutenção dos mesmos;
- Desenvolver uma estratégia de manutenção para a família dos agitadores;
- Calcular o MTBF, MTTR e disponibilidade de todos os agitadores de forma clara e comparativa;
- Explanar à engenharia de confiabilidade da indústria o principal modo de falha do equipamento, de forma a minimizá-lo ou eliminá-lo e como consequência reduzir quebras, contribuir para o aumento de produção e lucratividade.

1.2 Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro, Introdução, faz a apresentação da manutenção em equipamentos como peça chave para o processo produtivo da empresa, explanando a importância da escolha correta da estratégia de manutenção utilizada, o reconhecimento dos modos de falhas do equipamento e justificando a necessidade deste estudo para a melhoria de todo o processo produtivo.

Na segunda parte desse capítulo, descreve-se o objetivo específico e os gerais do estudo do uso de ferramentas de engenharia de manutenção para aumentar a confiabilidade do equipamento.

No segundo capítulo, Metodologia, é apresentada a forma de elaboração e a classificação do trabalho segundo os critérios estipulados na pesquisa científica.

No terceiro capítulo, Manutenção, aborda-se de forma explanativa a manutenção industrial. Explica-se a importância de elaboração do plano de manutenção, da escolha da estratégia de manutenção e de ferramentas de manutenção capazes de aumentar a confiabilidade de equipamentos e minimizar as falhas recorrentes.

No quarto capítulo, é exposto o estudo de caso. Fala-se da empresa em questão, da oportunidade encontrada para o estudo e o que foi realizado como forma de contribuição para a empresa e para o meu crescimento profissional.

No quinto e último capítulo, considerações finais, ressalta-se a relevância do trabalho frente à companhia, pontua-se as melhorias implantadas e as oportunidades de mudança para ganhos em manutenção e rentabilidade de processo.

2 MANUTENÇÃO

Segundo a NBR 5462-1994, a manutenção é definida como a combinação de ações e técnicas administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou relocar um item em um estado no qual possa desempenhar a função requerida.

Para Kardec e Nascif(2010) a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

Simei (2012) enfatiza que manutenção também pode ser definida como um conjunto de tratativas e ações técnicas, intervencionistas, indispensáveis ao funcionamento regular e permanente das máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção.

Com o passar dos anos, a manutenção deixou de ser um item de luxo das grandes indústrias e passou a ser uma das principais ferramentas para o aumento da competitividade das organizações. Esta postura atual é fruto dos novos desafios impostos para as empresas, devido a uma economia globalizada e super competitiva, onde as mudanças acontecem rapidamente e a manutenção sendo uma atividade fundamental no processo de produção, deve ser um agente proativo.

2.1 Tipos de Manutenção

O que caracteriza os tipos de manutenção é a forma como é feita a intervenção no equipamento. Para Kardec e Nascif(2010) os principais tipos são:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia Da Manutenção.

2.1.1 Manutenção Corretiva Não Planejada

A manutenção corretiva não planejada ou simplesmente emergencial trata da correção da falha ou do desempenho do equipamento quando este é menor que o esperado, de uma maneira aleatória, quando não há mais tempo para o serviço ser organizado previamente.

Kardec eNascif(2010) alertam que normalmente, este tipo de manutenção implica altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, de qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Ressaltam ainda, que quebras aleatórias podem ter consequências graves para o equipamento acarretando em danos bem maiores. Em plantas industriais de processos contínuos, ao interromper o processo de forma bruta para reparar um equipamento em falha, fica comprometida também a qualidade de operação de outros equipamentos que fazem parte do sistema. Para eles, as empresas que trabalham em sua maior parte, com manutenções corretivas não planejadas, não estão inseridas competitivamente no mercado.

2.1.2 Manutenção Corretiva Planejada

Sobre manutenção corretiva planejada, KardeceNascif (2010, p. 41), define:

[...] é a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial. Normalmente a decisão gerencial se baseia na modificação dos parâmetros de condições observados pela manutenção preditiva.

Enquanto a manutenção corretiva não planejada pode ocasionar grandes perdas de produção, a manutenção corretiva planejada a perda de produção é reduzida ou até mesmo eliminada. Um serviço planejado é sempre mais rápido, mais barato e mais seguro e com maior qualidade que um serviço não planejado. A característica da manutenção corretiva planejada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

Para Kardec eNascif(2010) os fatores que levam a adoção de uma política de manutenção corretiva planejada, são:

- Possibilidade de compartilhar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;

- Aspectos relacionados com a segurança. A falha não provoca qualquer situação de risco para o pessoal ou para a instalação;
- Melhor planejamento de serviços;
- Garantia de existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental;
- Existência de recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, ser buscados externamente à organização.

Ou seja, para eles, quanto maiores forem as implicações nas falhas, nos custos, na segurança dos funcionários e da operação, maiores serão as condições de adoção da manutenção corretiva planejada. Em suma, ela é planejada visto que o próximo prazo de manutenção rotineira ainda está longe de acontecer e, a fim de evitar uma falha repentina ocasionando a interrupção do processo.

2.1.3 Manutenção Preventiva

Entende-se por manutenção preventiva todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando assim, em condições operacionais ou em estado de zero defeito. Esses serviços são realizados em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de falha, desta forma proporcionando uma tranquilidade operacional necessária para o bom andamento das atividades produtivas.

Xenos(2014) define manutenção preventiva como um conjunto de ações preventivas executadas em intervalos fixos (ações preventivas baseada no tempo), ou de acordo com critérios estabelecidos (ações preventivas baseada na condição), com o objetivo de prevenir ou eliminar a incidência de falhas ou a degradação das funções de um equipamento. O aspecto fundamental da manutenção preventiva é agir com antecedência para bloquear as causas potenciais de falhas nos equipamentos.

Diferentemente da manutenção corretiva, a preventiva procura constantemente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, prevenir a falha. Este tipo de manutenção é mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição de peças, quanto mais cara for o

custo de reparo de falhas e, quanto maior for a implicação dessas falhas na segurança operacional e pessoal.

2.1.4 Manutenção Preditiva

A ABNT (NBR-5462, 1994), conceitua manutenção preditiva como a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Kardec e Nascif(2010) definem este tipo de manutenção como a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Acrescentam ainda, que através de técnicas preditivas é feito monitoramento da condição e da ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada.

Para Kardec e Nascif (2010), as condições básicas para que seja estabelecido este tipo de manutenção, são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, sistema ou instalação deve ter a escolha por este tipo de manutenção justificada pelos custos envolvidos;
- As falhas devem ser originadas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Adoção de um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

O objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Isto porque a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos, pois as medições são efetuadas com o equipamento produzindo.

2.1.5 Manutenção Detectiva

Kardec e Nascif(2010) definem manutenção detectiva como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

É de suma importância para garantir à confiabilidade a identificação de falhas ocultas. E em sistemas mais complexos essas ações só devem ser levadas a efeito pelo pessoal da área de manutenção que tenha treinamento e habilitação para tal, assessorado pela operação.

À medida que ocorre o aumento da utilização de dispositivos eletrônicos inteligentes nos sistemas de proteção, controle e automação nas instalações, maior será a capacidade de atuação da manutenção detectiva para garantir a confiabilidade e a manutenção da instalação. Uma grande vantagem da manutenção detectiva é a verificação do sistema sem parada de operação, possibilitando uma correção da não conformidade encontrada com o sistema em operação.

2.1.6 Engenharia de Manutenção

A engenharia de manutenção é um modelo de manutenção praticado de forma planejada e cuidadosamente estudado a fim de modificar situações permanentes de baixo desempenho, aperfeiçoar padrões e sistemáticas, trabalhar em cima de melhorias, envolvendo todos os setores do processo, buscando o benchmarking em manutenção. À medida que melhores técnicas vão sendo introduzidas, os resultados da manutenção vão melhorando.

Dentre as principais atribuições da Engenharia de Manutenção, Kardec e Nascif (2010) listam:

- Aumentar a disponibilidade, manutenabilidade e confiabilidade do sistema;
- Implantação de melhoria;
- Aumentar a segurança da planta;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal de manutenção;

- Gerir materiais e sobressalentes;
- Participar de novos projetos;
- Dar suporte a execução;
- Fazer análise de falhas e estudos para melhoria;
- Elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer análise crítica periódica;
- Acompanhar os indicadores de desempenho dos equipamentos;
- Zelar pela documentação técnica.

A engenharia de manutenção procura obter soluções definitivas para eliminar ou diminuir o máximo possível a ocorrência de defeitos ou falhas no sistema ou equipamento. Para isso, utiliza-se de dados obtidos nas demais atividades de manutenção para implementação das melhorias e elaboração de uma estratégia de manutenção eficaz.

Viana 2002 enfatiza que a determinação de quais estratégias de manutenção serão aplicadas no processo produtivo, e seus subprocessos, é a base da política de manutenção.

2.2 Planos de Manutenção

Viana (2002, p. 87) explica que:

Os Planos de Manutenção são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos representam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. A sua disposição no tempo e no espaço, e a qualidade das suas instruções, determinam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação preventiva.

Um plano de manutenção deve responder as perguntas: Como fazer? O que fazer? Em quanto tempo? Além de planejar precisa programar: Quem? Como? Quanto?

Dentre as categoriais dos planos de manutenção, podemos enumerar as principais: os planos de inspeções visuais, roteiros de lubrificação, manutenção de troca de itens de desgaste, plano preventivo e plano preditivo.

2.2.1 Plano de Inspeções Visuais

Os planos de inspeções visuais consistem em observar se os equipamentos apresentam características como: ruído, temperatura, vibração e condição de conservação, em uma periodicidade padronizada. São importantes, pois detectam através dos cinco sentidos do mantenedor, falhas em equipamentos vistas como de fácil resolução por estarem no estágio de gravidade baixo.

Viana (2002, p. 87) explica que:

Para uma melhor eficiência deste acompanhamento, necessitamos de uma ferramenta bastante simples, que é a Rota de inspeção. A Rota de inspeção consiste em um mapeamento dos equipamentos de uma seção, dividindo-os respeitando a sua natureza: Elétrica ou Mecânica, e distribuindo de forma a garantir sua inspeção pela área sem ultrapassar um tempo máximo de uma hora e meia, verificando aspectos relevantes no maquinário, tendo como ferramenta os cinco sentidos do mantenedor.

2.2.2 Rotas de Lubrificação

A lubrificação em engrenagens, mancais, cilindros, superfícies planas deslizantes e outros elementos mecânicos são essenciais para a vida do equipamento. O objetivo ao lubrificar é reduzir o atrito entre as superfícies ajustadas entre si, evitando o desgaste das peças e temperaturas indesejáveis de trabalho.

Percebe-se então, a importância de ter um roteiro de lubrificação bem detalhado, que indique que tipo de lubrificação é utilizada, (óleo ou graxa lubrificante), onde é aplicado o lubrificante e com que frequência cada ponto recebe a lubrificação, para depois definir o modo de aplicação do lubrificante.

Viana 2002 pontua que esses roteiros de lubrificação aglutinarão um conjunto de equipamento, primeiro por sua localização na planta (Tag), depois por tipo de lubrificante a ser aplicado, e por último pelo método de aplicação; desta forma teremos roteiros mais racionais e eficientes, que abrangerão um mesmo sistema, um mesmo insumo (lubrificante) e um mesmo instrumento para a realização do trabalho (método).

2.2.3 Manutenção de troca de itens de desgaste

Todo equipamento possui os chamados itens de sacrifício (correias ou cintas de acionamento, gaxetas, filtros, etc), que são componentes feitos para se desgastarem no lugar de outro, para favorecer o bom funcionamento do conjunto. Esses itens não são reparáveis, são descartáveis após o cumprimento de sua vida útil então, o que torna compensatório é a sua troca.

Para Viana (2002, p. 96):

O planejamento deve se ater a este tipo de manutenção, dando encaminhamento da forma mais simples possível. Primeiro deve-se ter ciência de quais são, e onde estão os itens de desgaste, e após isso determinar a periodicidade de troca, que coincidirá com a vida útil de cada um; desta forma teremos planos de manutenção que gerarão OMs de simples troca, sem a necessidade do componente. Chegando ao fim da vida útil, ele será substituído pura e simplesmente.

2.2.4 Plano Preventivo

O plano preventivo, assim com o de lubrificação, consiste em um conjunto de atividades programadas, regularmente executadas com o objetivo de manter o equipamento em seu melhor estado operacional.

O plano contém a discriminação das tarefas, o que será feito e como será feito a manutenção. Para isso, precisa-se estudar o equipamento, objetivando identificar as possíveis falhas futuras, que serão minimizadas ou até mesmo evitadas com a ação preventiva. Este estudo dará também um conhecimento maior das ações mantenedoras, incluindo montagem, desmontagens e ajustes (com os respectivos valores aceitáveis). Depois de obter todas essas informações, o mantenedor saberá como proceder nas intervenções, melhorando assim a qualidade da manutenção e evitando perdas.

2.2.5 Plano Preditivo

O conteúdo deste plano será todas as técnicas adotadas pela preditiva no acompanhamento de um equipamento. Para isto, utilizarão de instrumentos eficazes, profissionais capacitados e um ótimo gerenciamento desses recursos.

É importante que as coletas e avaliações preditivas nos equipamentos estejam presentes na rotina e histórico do planejamento da área, pois trabalhando em paralelo, a programação e execução das medidas corretivas serão eficazes. São os indicadores da condição operacional dos equipamentos e sistema de processos que fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre reparos e minimizar o número e o custo de interrupções não programadas criadas pelas falhas das máquinas.

2.3 Confiabilidade

A confiabilidade surgiu na década de 50, nos Estados Unidos, a partir da necessidade de analisar e controlar as falhas em equipamentos eletrônicos que eram utilizados pelos militares. E, desde então, este termo tem sido muito utilizado na indústria de um modo geral, a fim de acompanhar o desempenho de um equipamento. A Engenharia Centrada na Confiabilidade é o processo de determinar os tipos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional.

De acordo com Kardec e Nascif(2002), confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida* sob condições específicas** durante um intervalo de tempo. Ou seja, pode-se considerar que a confiabilidade é a probabilidade estatística de não ocorrer falha de um determinado tipo, para certa missão, com um dado nível de confiança, cumprindo a missão satisfatoriamente de acordo com as condições operacionais às quais o equipamento está submetido, no período de tempo definido.

Quando o equipamento não tem um desempenho conforme o previsto, identificamos a situação como falha, por ter apresentado uma incapacidade de satisfazer um padrão de desempenho previsto. Assim, quanto maior o número de falhas menor a confiabilidade de um item. Visto que se procura um equipamento com maior confiabilidade, pois desta forma, melhores serão os resultados para o seu usuário, bem como, menor serão os custos de produção. Por outro lado, os custos de manutenção aumentam à medida que o índice de confiabilidade tende a 100%.

Para o cálculo da função confiabilidade $R(t)$ usamos a equação (01) (KARDEC e NASCIF, 2012):

* É o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória.

** Refere-se as condições operacionais às quais o equipamento está submetido.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (01)$$

Onde:

R(t) = Confiabilidade a qualquer tempo t.

F(t) = Probabilidade de falha

t = Tempo previsto de operação

2.3.1 Disponibilidade

Entende-se por disponibilidade a capacidade de um item estar em condições de executar uma dada função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em consideração os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

A disponibilidade pode ser classificada de acordo com Kardec e Nascif (2010, p. 112) em:

- Disponibilidade Inerente (*Inherent Availability*)

Calculada pela fórmula:

$$\text{Disponibilidade Inerente (\%)} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100$$

Onde:

TMEF* = Tempo médio entre falhas (em inglês MTBF – *Mean Time Between Failures*).

TMPR = Tempo médio para reparos (em inglês MTTR – *Mean Time to Repair*).

O termo inerente (ou intrínseca) implica o fato de somente levar em conta o tempo de reparo, excluindo do TMPR todos os demais tempos – tempo de logística, tempo de espera de sobressalentes, deslocamentos, etc. Reflete o percentual do tempo que seria disponível se não ocorressem perdas de tempo ou atrasos (*delay time*). A sigla TMPR na disponibilidade inerente leva em consideração apenas as manutenções corretivas.

- Disponibilidade técnica (*Achieved Availability*)

Também conhecida por Disponibilidade Obtida ou Encontrada. É dada pela fórmula:

* O TMEF (MTBF) é uma medida básica de confiabilidade de itens reparáveis e, em geral, se refere à vida média de uma população.

$$\text{Disponibilidade Técnica (\%)} = \frac{TMEM}{TMEF + TMPR_{\text{ativo}}} \times 100$$

Onde:

$TMEM$ = Tempo médio entre manutenções (em inglês MTBF – *Mean Time Between Maintenance*).

$TMPR_{\text{ativo}}$ = Tempo médio para reparos – corretivos e preventivos (em inglês $MTTR_{\text{active}}$ – *Mean Time to Repair Active*).

A sigla $TMPR$ na disponibilidade técnica também não considera os tempos adicionais de logísticas, esperas, atrasos, etc., mas inclui as manutenções tanto corretivas quanto preventivas.

- Disponibilidade Operacional (Operational Availability)

Calculada pela fórmula:

$$\text{Disponibilidade Operacional (\%)} = \frac{TMEM}{TMEF + TMP} \times 100$$

O TMP – Tempo médio de paralisações (em inglês MDT – *Mean Down Time*), inclui o $TMPR$ ($MTTR$) e todos os demais tempos: esperas, atrasos, paradas para manutenções preventivas ou inspeções, deslocamentos e outros que contribuem para que os equipamentos ou sistemas fiquem indisponíveis ou fora da condição de operação.

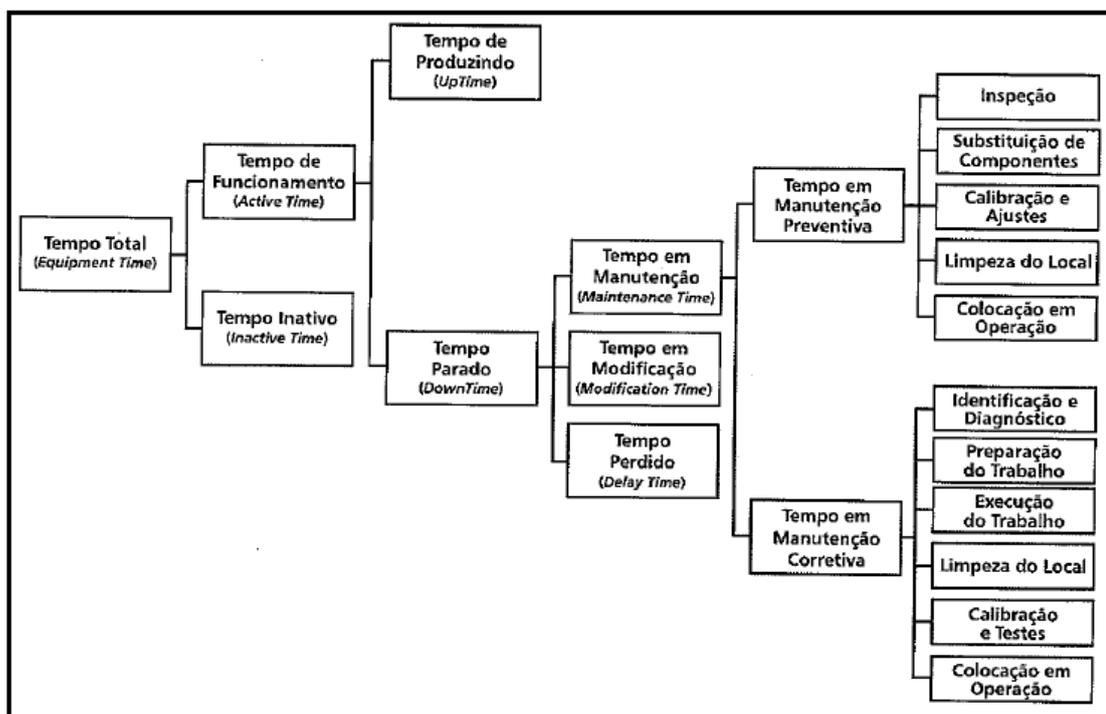


Figura 01: Disponibilidade- Diagrama de Tempos
Fonte: Adaptado de KARDEC e NASCIF(2012)

2.3.2 Manutenibilidade

A manutenibilidade pode ser definida como sendo a característica de um equipamento de permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção. Monchy acredita numa definição probabilística para manutenibilidade quando diz que a manutenibilidade é a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos. Ou mais precisamente, é a probabilidade de que um equipamento com falha seja reparado dentro de um tempo t .

“A maioria dos sistemas sofre manutenção, ou seja, são reparados quando falham e sofrem outras atividades para mantê-los operando. A facilidade com que se efetuam reparos e outras atividades de manutenção determinam a Manutenibilidade de um equipamento” (GURSKI, 2002).

A Equação (02) mostra como calcular a manutenibilidade dos equipamentos ou instalações (KARDEC e NASCIF, 2012):

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (02)$$

Onde:

$M(t)$ = Manutenibilidade

e = Base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$)

μ = taxa de reparos (número de reparos efetuados / tempo total de reparo da unidade).

t = tempo previsto para o reparo

O conceito de manutenibilidade que atua diretamente no indicador de efetividade operacional engloba características do projeto, suporte de especialistas à engenharia de projetos, vetor para redução de custos, atuação eficaz da engenharia de manutenção, planejamento da manutenção e capacitação da mão de obra de execução. Independentemente da atuação no projeto, sempre é possível melhorar a manutenibilidade.

Para isso, é necessário que a Engenharia de Manutenção atue de modo constante, utilizando o conhecimento e a vivência do pessoal da fábrica. E ao analisar a manutenibilidade de um equipamento deve-se levar em conta os requisitos qualitativos, como por exemplo, a padronização, a simplicidade de operação, a necessidade de ferramentas e instrumentos especiais, a acessibilidade; os requisitos quantitativos como o tempo médio de intervenções do tipo preventiva, corretiva e preditiva, o tempo máximo admissível para os

trabalhos de manutenção, os números médicos de recursos técnicos a cada intervenção da manutenção, o tempo de manutenção de cada novo produto e o tempo que este fica indisponível; o suporte logístico para providenciar os recursos que necessitam, o local apropriado e no momento adequado e; a capacitação do pessoal de manutenção, pois um profissional despreparado gasta um tempo muito maior para executar o serviço e é capaz de provocar sérios problemas pela falta de qualificação.

2.3.3 Ferramentas para o Aumento da Confiabilidade

2.3.3.1 Análise de Modo e Efeito de Falha – FMEA

A sigla em inglês FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. FMEA no sistema se preocupa com as falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção; no processo focaliza como o equipamento é mantido e operado, além disso, analisa partindo da causa para chegar ao efeito.

Segundo Toledo e Amaral (2006), Pode-se aplicar a análise FMEA nas seguintes situações:

- Para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Para diminuir a probabilidade de falhas potenciais (ou seja, que ainda não tenham ocorrido) em produtos/processos já em operação;
- Para aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram;
- Para diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos.
- A metodologia FMEA é importante, pois proporciona a empresa:
- Uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- Melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua);

- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- O benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes.

A FMEA focaliza falhas potenciais e suas causas. Desse modo, as ações necessárias podem ser tomadas com vista a evitar problemas futuros e prejuízos, antes que eles aconteçam. Para a manutenção, a aplicação mais vantajosa de FMEA ocorre na análise de falhas já ocorridas.

2.3.3.1.1 Etapas para a Aplicação

2.3.3.1.1.1 Formulário FMEA

É no formulário FMEA onde são apresentadas as definições de cada termo.

Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto						
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Ações de Melhoria					
						S	O	D	R			Medidas Implantadas	Índices Atuais				
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
Produto/ Processo objeto de análise	Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex.: Suportar o conjunto do eixo.	Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas. Ex.: Destalaceado, Rugoso, Trincado...	Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex.: vazamento de ar, ruidoso, desgaste prematuro, etc...	Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex.: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc...	Medidas Preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos das da empresa.	S E V E R I D A D E	O C O R R E N C I A	D E T E C T I O	R I S C O S	Ações recomendadas para a diminuição dos riscos	Responsável e Prazo						
<p>FLUXOGRAMA</p> <p>Quem está sendo analisado?</p> <p>Quais funções ou características devem ser atendidas?</p> <p>Como a função ou característica pode não ser cumprida?</p> <p>Que efeitos tem este tipo de falha?</p> <p>Quais poderiam ser as causas?</p> <p>Quais medidas de prevenção e descoberta poderiam ser tomadas?</p> <p>Quais os riscos prioritários?</p> <p>Quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?</p>						(S)	(O)	(D)	(R)								

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos

Figura 02: Definição dos termos e fluxograma de preenchimento do Formulário FMEA

Fonte: Adaptado de Toledo e Amaral (2006)

Para Toledo e Amaral (2006, p.03), a aplicação da metodologia segue a seguinte lógica:

A figura 02 ilustra o funcionamento da análise FMEA. Ela consiste de um formulário FMEA onde se pode observar a definição de cada coluna e, abaixo, um

fluxograma que mostra a ordem de preenchimento do formulário baseada em perguntas que devem ser feitas pelo grupo em cada etapa. A discussão realizada pelo grupo segue a ordem do fluxograma, ou seja, o grupo segue respondendo cada uma destas perguntas e preenche as colunas do formulário com as respostas encontradas por meio de consenso. Deve-se ter em mente que a análise FMEA é muito mais do que apenas preencher um formulário, o seu verdadeiro valor está na discussão e reflexão dos membros do grupo sobre as falhas potenciais do produto/processo e as ações de melhoria propostas pelo grupo.

2.3.3.1.1.2 Planejamento

Esta etapa é realizada pelo responsável pela aplicação da metodologia e compreende (TOLEDO; AMARAL, 2006):

- Descrição dos objetivos e abrangência da análise: em que se identificam quais produtos ou processos serão analisados;
- Formação dos grupos de trabalho em que se definem os integrantes do grupo, que deve ser preferencialmente pequeno (entre 4 a 6 pessoas) e multidisciplinar (contando com pessoas de diversas áreas como qualidade, desenvolvimento e produção);
- Planejamento das reuniões: as reuniões devem ser agendadas com antecedência e com o consentimento de todos os participantes para evitar paralisações;
- Preparação da documentação.

2.3.3.1.1.3 Análise da Falha em Potencial

Esta fase é realizada pelo grupo de trabalho que discute e preenche o formulário FMEA, definindo (TOLEDO; AMARAL, 2006):

- Funções e característica do produto/processo (coluna 1 figura 02);
- Tipos de falhas potenciais para cada função (coluna 2);
- Efeitos do tipo de falha (coluna 3);
- Causas possíveis da falha (coluna 4);
- Controles atuais (coluna 5).

Em seguida, são definidos pelo grupo os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos. Para depois, utilizando os conhecimentos, criatividade e até mesmo outras técnicas como *brainstorming*, listar todas as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos.

Toledo e Amaral (2006, p.05) ressaltam:

O formulário FMEA é um documento “vivo”, ou seja, uma vez realizada uma análise para um produto/processo qualquer, esta deve ser revisada sempre que ocorrerem alterações neste produto/processo específico. Além disso, mesmo que não haja alterações deve-se regularmente revisar a análise confrontando as falhas potenciais imaginadas pelo grupo com as que realmente vem ocorrendo no dia-a-dia do processo e uso do produto, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

3 METODOLOGIA

Andrade (2006) define metodologia como o conjunto de métodos ou caminhos que são percorridos na busca do conhecimento.

A metodologia é o tópico de um trabalho científico que explica de forma clara e precisa os procedimentos metodológicos desenvolvidos no caminho do trabalho de pesquisa e tem por objetivo analisar os métodos utilizados.

Assim, o pesquisador deve citar e explicar os tipos de pesquisa que o estudo trata, justificando cada item de classificação e a relação com o tema e objetivos da pesquisa (SILVA, 2008).

3.1 Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo requer primeiramente a realização de uma pesquisa bibliográfica. Este levantamento bibliográfico deu-se em busca de um embasamento teórico de temas sobre manutenção, abrangendo todos os tipos de manutenção, o plano de manutenção, confiabilidade e suas ferramentas.

Para Marconi e Lakatos (2002, p. 83),

Pesquisa de campo é aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema para o qual se procura uma resposta, ou de uma hipótese que se queira comprovar, ou, ainda, descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles.

Arcuri Filho (2007) classifica as pesquisas acadêmicas da seguinte forma:

- Quanto à natureza: não se fundamenta nos métodos adotados, mas sim nas finalidades da pesquisa:

- a. Trabalho científico original: pesquisa realizada pela primeira vez, que venha a contribuir com novas conquistas e descobertas para a evolução do conhecimento científico.

- b. Resumo de assunto: pesquisa que dispensa a originalidade, mas não o rigor científico. Fundamenta-se em trabalhos para aplicações práticas, publicados por autoridades no assunto e que não se limita à simples cópia de idéias. A análise e interpretação dos fatos e

idéias, a utilização de metodologia adequada, bem como o enfoque do tema de um ponto de vista original são qualidades necessárias. É mais comum nos cursos de graduação.

- Quanto à forma de abordagem:

- a. Quantitativa: considera que as opiniões e informações podem ser traduzidas em números para serem classificadas e analisadas. Necessita da utilização de recursos e técnicas estatísticas.

- b. Qualitativa: a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são elementos básicos nos processos da pesquisa qualitativa, que não requer assim, o uso de métodos e técnicas estatísticas. Portanto, as informações obtidas não podem ser quantificáveis sendo que os dados obtidos são analisados de forma indutiva.

- Quanto aos objetivos:

- a. Exploratória: constitui o primeiro passo de todo trabalho científico. Visa, sobretudo quando é bibliográfica, proporcionar maiores informações sobre determinado assunto, facilitar a delimitação de um tema de trabalho; definir objetivos ou formular as hipóteses de uma pesquisa ou descobrir novo tipo de enfoque para o trabalho que se tem em mente;

- b. Descritiva: os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados sem que o pesquisador interfira neles. Incluem-se aqui a maioria das pesquisas desenvolvidas nas Ciências Humanas e Sociais, as pesquisas de opinião, as mercadológicas e os levantamentos socioeconômicos;

- c. Explicativa: mais complexa, pois, além de registrar, analisar e interpretar os fenômenos estudados, este tipo de pesquisa procura identificar seus fatores determinantes, ou seja, suas causas. A maioria destas pesquisas utiliza o método experimental, o qual é caracterizado pela manipulação e controle das variáveis, com o objetivo de identificar qual a variável independente que determina a causa da variável dependente ou do fenômeno em estudo.

Dessa forma, entende-se que neste estudo empregou-se uma pesquisa do tipo resumo, pois se fez uso de observações e análises de fatos ocorridos através de uma planilha de registro de dados e um software explorado pela empresa.

Quanto a sua forma de abordagem, a pesquisa é quantitativa e qualitativa, pois se preocupa tanto em analisar dados mensuráveis como os resultados subjetivos que estes dados copilam.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada em exploratória, descritiva e explicativa. Exploratória porque objetivou obter uma maior familiaridade com o problema

devido ao seu estudo mais aprofundado. Descritiva, pois, os registros foram coletados, analisados e interpretados de forma imparcial, reconhecendo os modos de falhas ocorridos nos equipamentos e seus componentes, sem haver manipulação de tais informações. Explicativa, porque depois de coletar e interpretar os dados se preocupa com as causas das falhas mais comuns registradas nos equipamentos.

Além disso, esta pesquisa trata-se de um estudo de caso de natureza aplicada, pois objetiva detalhar as informações referentes ao caso específico sob estudo e seus resultados serão utilizados no ambiente onde esta será realizada.

O estudo de caso foi realizado na empresa Alumar – Consórcio de Alumínio do Maranhão, mais precisamente na área da Precipitação. Os principais equipamentos desta área são os tanques precipitadores que funcionam de forma a agitar a solução contida no interior do tanque de forma contínua, caso passe algumas horas parado, a solução começa a solidificar, incrustar no próprio tanque.

Em virtude disso, esses equipamentos precisam funcionar de forma eficaz e ininterruptamente, porém, as falhas repentinas e as intervenções corretivas comprometem a disponibilidade e a confiabilidade do equipamento, ocasionando elevados custos e impactos no processo produtivo da empresa.

Com toda essa responsabilidade depositada nestes equipamentos, viu-se a importância de acompanhar de perto todos os tipos de falhas e intervenções ocorridas neles. Como são 42 precipitadores, o acompanhamento foi diário e atencioso para registrar cada detalhe e intervenção realizada, bem como suas manutenções corretivas, preventivas programadas e preditivas.

Primeiramente, elaborou-se uma planilha no Excel, que seria capaz de puxar as correntes desses equipamentos diretamente de um software da utilizado pela empresa, de forma que ficasse registrado mensalmente, quantas horas cada agitador ficou ligado e em funcionamento. Nessa mesma planilha, cadastrava-se as falhas especificando o tipo de cada uma, além de calcular o MTBF e o MTTR de cada agitador*.

Paralelo a isso, redefiniu-se o plano de manutenção realizado nos precipitadores, elaborou-se um quadro de FMEA, coletou-se informações da engenharia de processos da área e todos procedimentos e informações relacionadas a este equipamento para em seguida,unificar em um documento chamado Estratégia de Manutenção, e colocá-lo de forma

* Entende-se por agitador o conjunto de acionamento (motor e redutor), o draft tube e a hélice.

acessível a todas as pessoas que trabalham direta e indiretamente com esse equipamento crítico, facilitando a coleta de informações.

Em seguida, coletaram-se os dados preenchidos na planilha, analisou-os de forma sucinta, verificou-se qual a falha mais frequente nos agitadores e quais agitadores apresentaram esse tipo de falha e encaminhou-os para o setor de engenharia de confiabilidade da empresa onde estudam mais a fundo a causa da falha. Verificou-se que alguns ajustes poderiam ser feitos na área da precipitação para aumentar a confiabilidade do equipamento e o que poderia ser feito na oficina para auxiliar neste trabalho. Por fim, foram propostos esses ajustes para a supervisão e colocados em prática para teste.

4 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso foi realizado na empresa Alumar, situada na cidade de São Luís, no estado do Maranhão.

4.1 Descrição da empresa

A Alumar é um Consórcio de alumínio do Maranhão, inaugurado em julho de 1984, formado pelas empresas Alcoa, Rio Tinto Alcan e BHP Billiton e desempenha um importante papel socioeconômico no Maranhão. A empresa estrutura o seu modelo de negócios apoiada no conceito de sustentabilidade, incorporando no seu cotidiano critérios que asseguram o sucesso econômico, a excelência ambiental e a responsabilidade social.

A indústria é composta pela refinaria e o porto. A refinaria, conforme ilustrada na figura 04, é dividida em 5 partes: Digestão, Clarificação, Precipitação, Calcinação e Utilidades em um processo conhecido como Bayer. Na etapa de Digestão, a matéria prima bauxita é processada para se extrair a alumina, figura 03, através do uso de solução com soda cáustica. Na sequência, a Clarificação é responsável por remover os sólidos gerados e que não possuem valor para o processo. Depois de purificada, a solução segue para a etapa de Precipitação na qual haverá precipitação da alumina que foi extraída na etapa de Digestão. O fechamento do processo de obtenção da alumina ocorre na Calcinação, cuja aplicação de altas temperaturas permite a obtenção do produto final: alumina calcinada. A área de Utilidades é responsável por produzir e prover ao processo produtivo: energia elétrica, vapor vivo, gerar ar comprimido e pelo tratamento de águas. Depois de obtida, a alumina será encaminhada para produção do alumínio metálico para clientes externos.



Figura 03: Foto Alumina
Fonte: Alumar (2015)



Figura 04: Foto aérea Refinaria Alumar
Fonte: Alumar (2015)

O Porto, ilustrado na figura 05, é o local onde acontece o desembarque das matérias-primas e insumos utilizados na produção da Refinaria e também o embarque do produto final, a Alumina. O Porto movimenta anualmente 14 milhões de toneladas.



Figura 05: Foto aérea Porto Alumar
Fonte: Alumar (2015)

4.2 Descrição da área da precipitação

A Área da Precipitação tem como objetivo precipitar a alumina solubilizada, através do resfriamento do licor verde (Green liquor ou GLQ) com o maior rendimento possível e de tal forma que a qualidade do hidrato formado atenda aos requisitos do cliente.

O licor verde vem de uma área onde ocorre troca térmica para a precipitação, mais precisamente para o tanque 45A. De lá, a solução vai para os precipitadores, os *Head Tanks** de cada bancada, fluindo de um precipitador para outro por transbordo. No decorrer desse percurso, os cristais são precipitados e crescem em função da queda de temperatura, adição de semente e do tempo de retenção.

O processo é dividido em duas etapas: a precipitação propriamente dita e a clarificação. A Área da Precipitação é dividida em duas unidades: a Unidade 1 é composta por 2 linhas de precipitadores, em paralelo, chamadas de Bancada 2A e 2B, com 11 precipitadores em série em cada uma, a Unidade 2 é composta por 2 linhas de precipitadores, em paralelo, chamadas de Bancada 3A e 3B, com 9 precipitadores em série em cada uma. Eles são agitados mecanicamente por uma hélice e as 4 linhas operam simultaneamente. As *tags* dos precipitadores começam com a sigla PC e seguem uma sequência numérica.

Os precipitadores possuem uma calha de ligação entre eles onde a solução passa de um precipitador ao outro por transbordo. Esta distribuição foi perfeitamente projetada de forma a promover menor distância de fluxo no caso de um precipitador ser retirado de operação. Entre os precipitadores existem trocadores de calor para que o licor seja resfriado conforme padrão do processo. Esses estágios de resfriamento contribuem para aumentar o rendimento da precipitação e assim maximizar a produção.

* São chamados de *Head Tanques* os primeiros precipitadores de cada bancada.

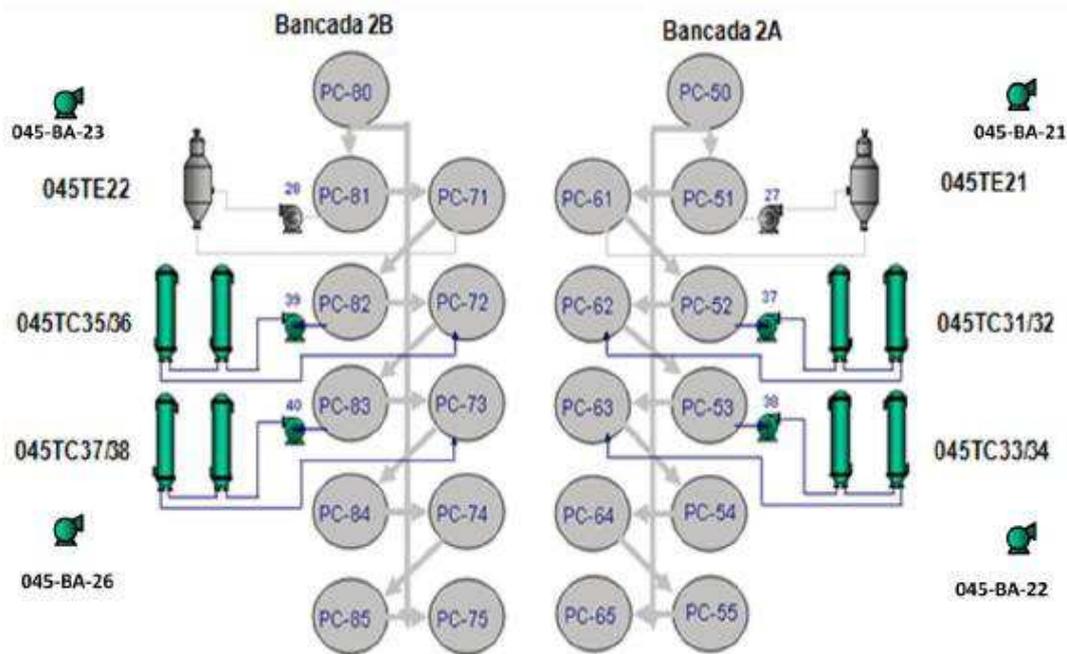


Figura 06: Layout de Precipitadores e Trocadores de calor da Unidade I
 Fonte: Descritivo Processo Bayer e Refinaria –Alumar (2013)

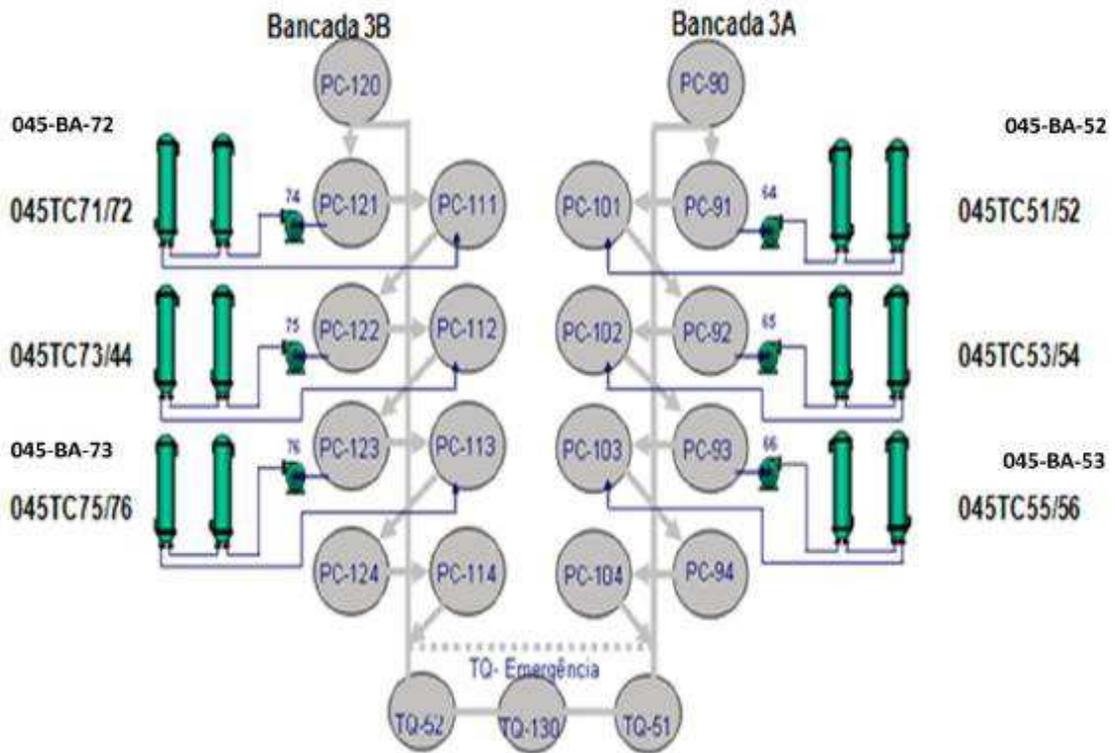


Figura 07: Layout de Precipitadores e Trocadores de calor da Unidade II
 Fonte: Descritivo Processo Bayer e Refinaria –Alumar (2013)

4.3 Descrição dos precipitadores

O precipitador consiste num tanque cilíndrico dotado de um tubo central (draft tube) e um agitador que opera no interior do tubo central agitando a solução que se encontra no interior do tanque. O acionamento do sistema de giro é feito por meio de motor elétrico que entra com velocidade de 1770 rpm e corrente nominal de 124 A, interligado ao redutor com velocidade de 30 RPM (Unidade I) e 33 RPM (Unidade II), que aciona o eixo cardan, transmitindo a hélice. A hélice do agitador força a pasta em direção ao fundo do draft tube (fundo do precipitador), o que arrasta os sólidos e faz com que os mesmos sejam conduzidos verticalmente para cima quando deixam o draft tube.

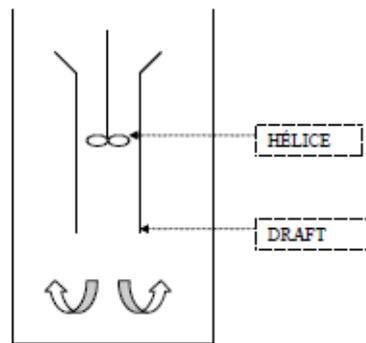


Figura 08: Esquemático de um Precipitador
 Fonte: Descritivo Processo Bayer e Refinaria –Alumar (2013)

Guardadas as devidas especificidades de cada precipitador, esse sistema promove a circulação do produto e agitação das partículas de forma que ao se chocarem elas se aglomeram, iniciando assim o processo de precipitação propriamente dito. A aglomeração é o processo no qual, pequenas partículas colidem, aderem e cimentam juntas, formando partículas maiores. O processo de aglomeração também envolve forças de atração entre as partículas, dependendo do grau de facilidade de deslocamento das partículas no meio. Daí a importância de o tanque possuir um conjunto agitador.

Esse conjunto agitador interfere diretamente na morfologia dos cristais, então precisa sempre estar funcionando com o desempenho esperado. Além de precisar de agitação para as partículas se aglomerarem, a falta de agitação cristaliza a solução nas paredes do tanque, atrapalhando o processo. De forma que ao ligar novamente o conjunto de acionamento, é necessário uma força maior que a de projeto para fazer a hélice girar, de tal forma que é requerido do motor uma potência acima da nominal, levando ao aumento da corrente e muitas das vezes ele não consegue mandar energia suficiente para o sistema. Nesta

situação, o redutor requer do motor uma potencia maior na repartida, pois precisa de um torque maior. Caso o nível de sólido sedimentado* seja alto, o redutor sofre com a força que retorna por empuxo e pode vir a quebrar rolamento e outros itens. Com isso, o draft começa a balançar, pondo em risco todo o sistema de agitação.

Além de serem essenciais para o processo, precisando operar de forma rotineira e eficaz, os precipitadores estão submetido a várias situações em que o próprio processo contribui para a quebra do equipamento. Para isso, sua manutenção é planejada buscando a otimização dos serviços e executada regularmente conforme o cronograma.

4.4 Otimizando os planos de manutenção

Quando um tanque precipitador fica fora de operação durante 24 horas, estima-se que a perda de produção em dólar, é de 7 mil. Visando diminuir os impactos causados e estaperda, caso o agitador venha falhar de forma repentina, a área possui planos de manutenção preventivos, que proporcionam um maior aproveitamento de sua vida útil. De acordo com a política da empresa voltada para ser referência de excelência operacional entre as Refinarias Alcoa e alinhado aos conceitos do REX, os planos de manutenção precisam ser reavaliados a cada dois anos, para constatar se o plano realizado até o momento foi de forma eficiente ou se há algum ajuste a ser feito, de forma que possa ser otimizado.

O primeiro passo então foi acompanhar de perto todos os tipos de manutenção realizada nos agitadores. Constatou-se que as manutenções aconteciam em períodos maiores que a vida útil do equipamento, pois a priori seguiu-se a recomendação do fabricante. Como o sistema agitador está em contato direto com um material muito corrosivo e abrasivo, tende consequentemente a diminuir sua vida útil, não podendo ser comparado a equipamentos que não estão em ambiente de trabalho agressivo.

Outro fator bem determinante para diminuir o intervalo entre as manutenções foi que passando dois anos os tanques de carga já possuem muito material incrustado na sua base, o que influencia no rendimento da solução e, logo a equipe de manutenção de processos deu o alarme de que precisava diminuir o intervalo entre as lavagens.

No *overhaul*, os tanques precipitadores, agitadores e válvulas de fundo passam por uma manutenção preventiva corretiva que seguem um calendário de intervenções

* Entende-se por sólidos sedimentados as partículas grandes que cristalizam e se depositam no fundo do tanque, não conseguindo ser dissolvidas durante a agitação.

dependente da duração das campanhas de cada tanque, que são diferentes entre si como já foi dito. A vida de operação esperada varia proporcionalmente com o nível de incrustação ao qual o tanque está submetido, já que a característica do material em cada etapa da precipitação se altera à medida que o material vai percorrendo o circuito. Para tanques cujo nível de incrustação não é crítico, o fator determinante da vida de operação é a duração das pás do agitador, que atualmente está limitada a 36 meses.

Precipitador	Duração da campanha
045 –PC-050	18 meses
045 –PC-051	18 meses
045 –PC-061	18 meses
045 –PC-052	36 meses
045 –PC-062	36 meses
045 –PC-053	36 meses
045 –PC-063	36 meses
045 –PC-054	36 meses
045 –PC-064	36 meses
045 –PC-055	36 meses
045 –PC-065	36 meses

Precipitador	Duração da campanha
045 –PC-080	18 meses
045 –PC-081	18 meses
045 –PC-071	18 meses
045 –PC-082	36 meses
045 –PC-072	36 meses
045 –PC-083	36 meses
045 –PC-073	36 meses
045 –PC-084	36 meses
045 –PC-074	36 meses
045 –PC-085	36 meses
045 –PC-075	36 meses

Precipitador	Duração da campanha
045 –PC-090	18 meses
045 –PC-091	18 meses
045 –PC-101	18 meses
045 –PC-092	36 meses
045 –PC-102	36 meses
045 –PC-093	36 meses
045 –PC-103	36 meses
045 –PC-094	36 meses
045 –PC-104	36 meses

Precipitador	Duração da campanha
045 –PC-120	18 meses
045 –PC-121	18 meses
045 –PC-111	18 meses
045 –PC-122	36 meses
045 –PC-112	36 meses
045 –PC-123	36 meses
045 –PC-113	36 meses
045 –PC-124	36 meses
045 –PC-114	36 meses

Figura 09: Tabela de Overhaul dos tanques precipitadores
 Fonte: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45 – Autora (2015)

Quando um tanque sai para manutenção a solução contida nele é encaminhada para outro tanque da mesma bancada ou enviada para um tanque de emergência. Retira-se todo material incrustado no tanque através de lavagem de solução cáustica aquecida a 100°C,

e então o sistema é desligado para que sejam realizadas manutenções preventivas mecânicas e elétricas no equipamento todo.

Durante o acompanhamento das manutenções preventivas realizadas nos agitadores, constatou-se uma oportunidade de melhora, de forma que estas deveriam conter algumas instruções que são padrão Alcoa, bem como outras que faria da ordem de serviço um documento entendível pelo mantenedor e explicativo para o engenheiro ou alguém da área que quisesse buscar informações da última manutenção.

Atualmente, existem duas manutenções preventivas mecânicas realizadas no precipitador. Uma delas é uma inspeção com a frequência de sete dias (Anexo 1) onde cobra-se a observação da estrutura do equipamento, condição dos parafusos de fixação, limpeza do conjunto se necessário, verificação do redutor quanto ao nível de óleo, ruído, temperatura e vibração e pede para acionar a preditiva, caso encontre alguma anormalidade.

Uma revisão foi feita neste documento e além das instruções padrão que a empresa exige, decidimos seguir uma linha de perguntas e respostas as quais tornaria o documento bem objetivo e facilitaria seu entendimento (Anexo 2). Nesta nova manutenção mecânica preventiva de 7 dias, incluiu-se todo o tipo de inspeção que poderia ser realizada com o equipamento online, como inspecionar o elemento elástico do acoplamento quanto a rasgos ou avarias, se o conjunto em operação está em balanço e verificar com atenção se há batidas da hélice no Draft Tube, pois a hélice fica coberta de material, e só é possível analisá-la quando o tanque está sem material e fora de operação. Como a hélice possui apenas três pás e seu projeto possui medidas angulares bem precisas, qualquer quebra ou corrosão modifica seu movimento circular. (Anexo 2).

A manutenção preventiva mais completa, a qual é realizada com o equipamento parado e quando todo o tanque também está em manutenção, o que chamamos de *overhaul**, precisou ser modificada quase que totalmente. Além de não possuir as orientações iniciais exigidas, ela mais parecia uma inspeção que uma preventiva mecânica. Comparar Anexo 3 com Anexo 4 (manutenção modificada).

Primeiramente é importante verificar se os parafusos da estrutura do redutor estão fixados corretamente e se a proteção de máquina está em perfeito estado de forma a garantir a segurança de operadores, mantenedores e todas as pessoas que transitam perto do equipamento, caso contrário precisa ser recuperado. Em seguida o mantenedor precisa checar com a engenharia da área se o agitador possui laudo preditivo ou alerta de alguma

* Entende-se como *Overhaul* uma manutenção programada onde se faz necessária a parada total de um sistema de produção, envolvendo vários equipamentos.

anormalidade ressaltada pelo próprio operador de área, para a partir daí trocar todos os itens do agitador que estão apresentando defeito. Isto inclui redutor (todos os seus componentes), parafusos do corpo do conjunto, mancais, eixo cardan, *draft tube*, hélice e tirantes (que servem de apoio para estabilizar concentricamente a hélice).

Caso o motor ou o redutor apresente um problema maior, o conjunto é retirado e encaminhado para o prédio da oficina central para a realização do serviço. Não se troca somente redutor ou somente motor, a troca é completa (conjunto motor-redutor), pois o alinhamento é realizado na oficina para uma maior precisão, na área são feitos apenas alguns ajustes finais.

Caso não tenha laudo, os mantenedores cumprem as instruções da manutenção preventiva que buscam diretamente do software utilizado pela empresa, o EAM.

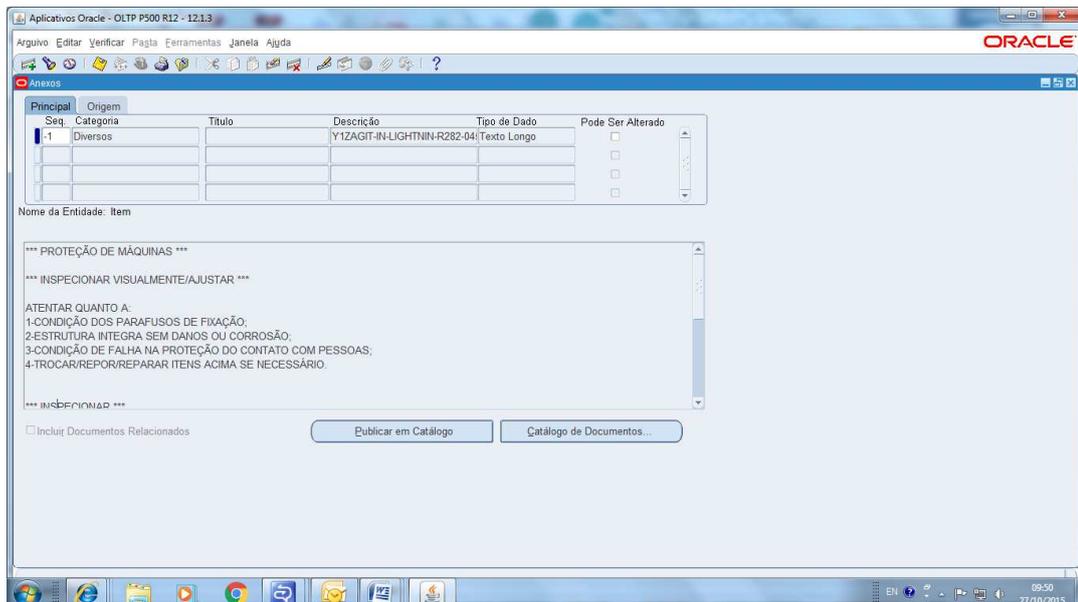


Figura 10: Tela do sistema de acesso ao anexo de manutenção
Fonte: Software e-Am – Alumar (2015)

Nonovo descritivo da atividade de manutenção preventiva mecânica achamos importante especificar o nome do óleo lubrificante utilizado para que não houvesse dúvidas; o código de itens de estoque que geralmente são trocados, os que chamamos de itens de sacrifício, que são feitos para desgastarem-se em prol do bom funcionamento do conjunto e como geralmente não é compensatória a sua recuperação eles são descartados, por exemplo, os acoplamentos; avaliações de avarias ou soldas no tanque; estado da hélice, do *draft tube* e dos tirantes. Pois esses itens não podem ser visualizados e avaliados com o tanque em operação e cheio de material.

A ideia do plano preventivo é gerar OMs periódicas de forma automática, evitando que passe despercebida a execução de tarefas importantes para a conservação, bom funcionamento e desempenho do equipamento.

Já os planos preditivos possuem os mesmos requisitos estabelecidos nos planos preventivos, mas a área não disponibilizava HH para este serviço, pois a Refinaria tem um setor só de preditiva que é responsável por todas as áreas. Porém, para atender aos conceitos do Rex a área da precipitação vai destinar 20% do HH para acrescentar uma inspeção preditiva com os recursos da área. Aumentando as manutenções nos tanques precipitadores para ajudar no diagnóstico rápido de qualquer eventual problema, ficando o plano de manutenção novo organizado da seguinte forma:

TIPOS DE MANUTENÇÃO	PLANO ANTIGO	PLANO NOVO
INSPEÇÃO PREVENTIVA	7 DIAS	7 DIAS
PREVENTIVA MECÂNICA	1008 DIAS	504 OU 672 DIAS
INSPEÇÃO PREDITIVA MECÂNICA	INEXISTENTE	7 DIAS
PREVENTIVA ELÉTRICA	1008 DIAS	504 OU 672 DIAS
INSPEÇÃO PREDITIVA ELÉTRICA	INEXISTENTE	504 OU 672 DIAS
PREDITIVA REFINARIA	14 DIAS	14 DIAS

Tabela 01: Comparativo do período de manutenção do plano antigo e do plano revisado.
Fonte: Autora (2015)

4.5 A estratégia de manutenção

Como os tanques precipitadores são os principais equipamentos da área e precisam estar 100% disponíveis, não só a inspeção preventiva e a manutenção preventiva mecânica como todas as outras manutenções relacionadas a ele precisam estar atualizadas e relatadas em um único documento denominado Estratégia de Manutenção, além de estarem de fácil acesso para todos envolvidos da área e da fábrica e serem realizadas conforme cronograma.

Partindo deste pressuposto, a determinação de que estratégia de manutenção será utilizada no processo produtivo é de acordo com a base da política de manutenção da Alcoa, incluindo as ferramentas organizacionais que tornam possível o perfeito exercício da

manutenção, as técnicas de planejamento, os parâmetros de processo, os índices de qualidade, os procedimentos de realização dos serviços, a segurança, o meio ambiente, o sistema de gerenciamento e toda a estrutura da manutenção da empresa.

É importante ressaltar que as orientações do projetista do equipamento interferem de forma construtiva na estratégia de manutenção do mesmo. As recomendações do fabricante dizem sobre os procedimentos de correção de uma possível falha, de ajustes e calibrações, sobre sua conservação e a periodicidade de manutenção. As exigências legais para o manuseio do equipamento também foram observadas, bem como sua interação com o meio ambiente e principalmente com o homem.

A estratégia de manutenção dos precipitadores precisou então, ser melhorada. Reformulou-se a proposta funcional dos precipitadores; incluiu-se o plano de inspeção visual, plano de lubrificação e plano de manutenção de processos, e detalhou-se cada um deles, pois como já foi dito, todos os procedimentos, planos de manutenções e instruções relacionadas aos precipitadores devem estar sinalizados na estratégia de manutenção.

Área / Processo / Natureza				
Título: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45				
Aprovação:	01/10/2015	Responsável:	Luis Lobato Santos	
Próxima Rev.:	01/10/2017	Aprovador:	Vitor Viana	
				4003549
♦ VÁLIDO SOMENTE NA WEB - IMPRESSÃO NÃO OFICIAL ♦				
RECURSOS NECESSÁRIOS				
<ul style="list-style-type: none"> • Plano de inspeção visual (disponível no e-AM) • Plano de manutenção preventiva (disponíveis no e-AM) • Plano de Lubrificação (disponível no e-Am) • Plano de manutenção preditiva (disponíveis no departamento de preditiva – T801) • Plano de manutenção de processos (disponível no LACDM) • Plano de overhaul (disponíveis no planejamento da Precipitação) • TDC-3000/PHD. 				
ASPECTOS GERAIS DE EHS				
Neste procedimento não se aplicam os aspectos gerais de EHS, pois é baseado em planos de manutenção.				

Figura 11: Foto da Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45

Fonte: Autora (2015)

1.3. Plano de Lubrificação

A lubrificação assume um papel de suma importância, devido a sua necessidade para a conservação de elementos mecânicos e, por conseguinte, máquinas e equipamentos, por reduzir o atrito entre as superfícies, evitando desgastes e temperaturas indesejáveis de trabalho. Os lubrificantes utilizados no conjunto de acionamento do agitador são:

Equipamento	Descrição do lubrificante
Motor	GRAXA LUBRIFICANTE MINERAL GRAU NLGI 2
Redutor	ÓLEO MINERAL ISO-VG320
Mancal superior do redutor	GRAXA LUBRIFICANTE MINERAL SABAO LITIO MULTIUSO EP GRAU NLGI 2

As rotas de lubrificação de todos os equipamentos também são gerenciadas pelo software de manutenção e-AM.

Figura 12: Detalhamento do plano de lubrificação dos Precipitadores.
 Fonte: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45 – Autora (2015)

Além dos planos, melhorou-se o quadro FMEA, pois esta ferramenta de confiabilidade de baixo risco é a mais eficiente para prevenção de problemas e para identificação de soluções eficazes em termo de custos e prevenção. Para prognosticar problemas, precisa-se estar alinhado com acontecimentos anteriores e modo de funcionamento de todos os itens do equipamento, então buscou-se informações com encarregados, mantenedores e engenheiros que trabalham frequentemente com o tanque.

Tendo essas informações em mãos, conseguimos relatar as características do equipamento no ambiente em que ele atua. Selecionar os modos de falha, determinar os modos de causa das falhas, os efeitos dos modos de falha, identificar o grau de severidade, propor uma contramedida caso essa falha venha a acontecer para então, trabalhar na prevenção da mesma. A figura abaixo mostra parte deste quadro, que estará com detalhes no Anexo 5.

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA (FMEA)						
Abaixo os principais problemas que ocorrem com os equipamentos desse sistema, com suas respectivas contramedidas (FMEA – Failure Mode Effective Analysis):						
Equipamento / Tag	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da Falha	Contramedida	Prevenção
PRECIPITADORES E TANQUES DE SEMENTE: 045-PC-90 045-PC-91 045-PC-92 045-PC-93 045-PC-94 045-PC-101 045-PC-102 045-PC-103 045-PC-104 045-PC-111 045-PC-112 045-PC-113 045-PC-114 045-PC-120 045-PC-121 045-PC-122 045-PC-123 045-PC-124 045B-TQ-51 045B-TQ-52 045-PC-50 045-PC-51 045-PC-52 045-PC-53 045-PC-54 045-PC-55 045-PC-61 045-PC-62 045-PC-63 045-PC-64 045-PC-65 045-PC-71 045-PC-72 045-PC-73 045-PC-74	Falha no Conjunto Agitador (Hélice e Draft Tube)	Perda de tanque	Alta	Tombamento do Draft Tube	Realinhamento do Draft Tube	Inspeção visual do agitador
				Quebra do eixo Cardan	Substituição do eixo	Preventiva Mecânica
				Quebra da hélice	Substituição da hélice	Manutenção Mecânica - Overhaul
	Falha no Conj. Acionamento (Redutor - Motor)	Perda do tanque com possível perda de produção	Alta	Falha do motor	Substituição do conjunto	Preventiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação
				Falha do redutor	Substituição do conjunto	Preventiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação
				Quebra no acoplamento no eixo de entrada e flange de saída	Substituição do acoplamento	Manutenção Preventiva e Preventiva Mecânica
				Falha Gaveta ou do CCM	Subst. Dos fusíveis/gaveta/ soft starter/chave seccionadora/ inversor (quando houver)	Preventiva e Preventiva Elétrica
				Sobrecarga no conjunto rotativo (redutor) do Agitador	Substituição do conjunto	Piano operacional de lavagem causica Saída do tanque para manutenção

Figura 13: Detalhamento de parte quadro FMEA.

Fonte: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45 – Autora (2015)

4.6 Acompanhamento dos agitadores

Ao elaborar o quadro FMEA percebeu-se a necessidade de acompanhar de perto essas falhas. Ter relato de quando aconteceu cada falha, quais as falhas mais frequentes nos agitadores, quais agitadores sofreram essa falha mais comum, qual o tempo médio entre as falhas, qual tempo médio pra reparo e a disponibilidade de cada agitador.

Para o acompanhamento desses parâmetros do equipamento, criou-se uma planilha na qual é possível buscar informações direto do software utilizado pela Alumar, onde mostra automaticamente e de forma real se o mesmo está ligado ou desligado, conforme a corrente, e por quantas horas diárias, ao clicar no botão atualizar.

S034 - Precipitadores 3A, 3B										
Status	Status Agit.	Temp.	Dens.	Solidos Conc. Max	Solidos Suspensos Instrument	Solidos Suspensos Manual	Solidos Sedim.	Data e Hora Input	Solidos Sedim.	Amper.
		degC	kg/m3	g/l	g/l	g/l	m			A
Precipitadores 3A										
Alvo					520,0	520,0	3,00			120,0
Medias					670,5	264,8				
045-PC-90	IN LIGADO	79,2	1142	300,0	0,0	76,0	11,00	29/10/15 16:12:22:5277		120,0
045-PC-91	IN LIGADO	70,1	1476	735,0	415,4	700,0	10,50	29/10/15 16:12:22:5284		133,0
045-PC-101	IN LIGADO	64,4	1650	740,0	790,8	121,0	10,20	29/10/15 16:13:22:5250		156,0
045-PC-92	IN LIGADO	67,1	1622	750,0	728,0	794,0	2,00	29/10/15 16:12:52:5416		110,0
045-PC-102	IN LIGADO	61,4		760,0		753,0	1,40	29/10/15 16:13:22:5257		116,0
045-PC-93	IN LIGADO	62,3		770,0		290,0	0,80	29/10/15 16:12:52:5422		113,0
045-PC-103	IN LIGADO	57,5		780,0		703,0	1,10	19/10/15 16:23:06:5342		108,0
045-PC-94	IN LIGADO	58,0	1616	790,0	666,6	111,0	1,50	29/10/15 16:12:52:5478		110,0
045-PC-104	IN LIGADO	58,6	1630	800,0	739,9	560,7	1,20	19/10/15 16:23:06:5354		102,0
Delta T Bancada Alvo		20,0								
Delta T Bancada		20,2								
Precipitadores 3B										
Alvo					520,0	520,0	3,00			120,0
Medias					701,2	351,7				
045-PC-120	IN LIGADO	78,6	1389	300,0	231,0	223,0	1,50	29/10/15 16:14:23:0323		114,0
045-PC-121	IN LIGADO	73,0	1479	735,0	423,7	223,0	11,00	29/10/15 16:14:23:0328		132,0
045-PC-111	IN LIGADO	64,1	1573	740,0	619,1	121,0	6,20	29/10/15 16:13:53:0355		110,0
045-PC-122	IN LIGADO	63,8	1000	750,0	0,0	223,0	1,70	19/10/15 16:24:37:0328		118,0
045-PC-112	IN LIGADO	60,1		760,0		151,0	3,00	29/10/15 16:13:53:0362		118,0
045-PC-123	IN LIGADO	60,3		770,0		322,0	0,80	19/10/15 16:24:37:0334		114,0
045-PC-113	IN LIGADO	57,3		780,0		223,0	1,40	19/10/15 16:24:07:0427		112,0
045-PC-124	IN LIGADO	57,4	1631	790,0	725,3	562,0	1,50	27/10/15 18:25:37:0285		110,0
045-PC-114	IN LIGADO	57,7	1646	800,0	754,4	558,0	2,20	29/10/15 16:13:53:0378		116,0
Delta T Bancada Alvo		20,0								
Delta T Bancada		21,0								

Figura 14: Imagem da tela do Software
 Fonte: Sistema interno Alumar (2015)

Se o agitador funcionar as 24 horas diárias ininterruptamente, aparecerá no quadro de horas o número 24. Caso ele fique parado por uma hora, esse tempo de parada é contabilizado de forma que a planilha diminui do total possível (24 horas) o valor de parada, e assim ela funciona decrescendo do tempo máximo de trabalho (24 horas) para o mínimo (zero), quando o mesmo encontra-se desligado.

Dados de Horas de Produtividade dos Agitadores																																				
Abril 2015	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Atualiza Quantidade de Horas				
045AG50	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG51	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG52	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG53	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG54	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG55	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG61	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	11	18	24	24	24	14	0	0	8	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG62	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG63	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG64	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG65	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG71	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG72	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG73	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG74	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG75	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG80	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG81	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG82	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG83	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG84	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG85	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG90	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Figura 15: Quadro de horas da Planilha de Acompanhamento dos Agitadores
 Fonte: Autora (2015)

Quando algum número do quadro de horas está diferente de 24, a primeira coisa a se fazer é verificar no relatório de turno o que aconteceu. Se o operador do turno não tiver relatado nada em relação a aquela parada, vamos investigar o que a manutenção de processos preparou para aquele dia. Às vezes ocorre de ter uma parada programada de manutenção corretiva para eliminar laudos de preditiva como eliminação de pontos quentes no motor, alinhamento do conjunto motor-redutor, entre outros eventos possíveis.

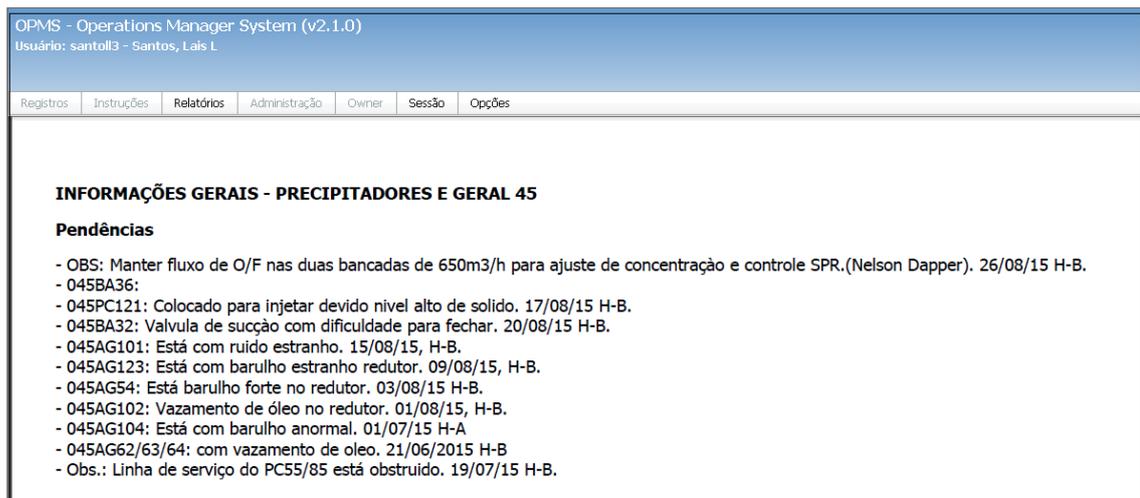


Figura 16: Relatório de Turno
 Fonte: Sistema interno- Alumar (2015)

Uma observação precisa ser levada em consideração quando observar o quadro de horas de agitadores ligados. Às vezes eles estão ou entrarão em manutenção preventiva. Nestescasos, a primeira etapa que antecede a manutenção propriamente dita é a lavagem cáustica que exige manobras operacionais de desligar e ligar o motor de forma que a solução é agitada conforme instruções de processo. Toda a equipe de engenharia e manutenção da precipitação fica ciente da parada para manutenção.

Maio 2015																															Atualiza Quantidade de Horas									
Dias/ Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		31								
045AG50	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24						
045AG51	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24					
045AG52	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
045AG53	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
045AG54	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
045AG55	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
045AG61	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
045AG62	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG63	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG64	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG65	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG71	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG72	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG73	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
045AG74	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG75	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG80	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG81	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG82	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
045AG83	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG84	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG85	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG90	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG91	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG92	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
045AG93	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Figura 17: Quadro de horas da Planilha de Acompanhamento dos Agitadores com comentários explicativos de eventuais paradas
Fonte: Autora (2015)

Caso, o operador tenha relatado uma falha e consequentemente uma parada repentina do equipamento, clica-se em cima da hora referente ao dia de parada e ao agitador que sofreu a mesma, que abrirá outra *spreadsheet* da planilha onde mostra os possíveis modos de falhas. Inserimos a unidade 1 em um ou mais modos de falha correspondentes, dentre aqueles treze listados como os mais possíveis de acontecer conforme a figura 18. A partir daí, a planilha calcula quantas horas o equipamento esteve em funcionamento durante aquele mês específico (a cada mês é uma nova planilha) e, quantas falhas o equipamento teve durante o mês. Para em seguida, calcular qual o MTBF e MTTR referente a ele.

Na spreadsheet “Gráficos”, as medidas de confiabilidade são comparadas em forma de gráficos para uma análise mais clara e correta, conforme a figura 20, podendo ser melhor visualizada no Anexo 7.

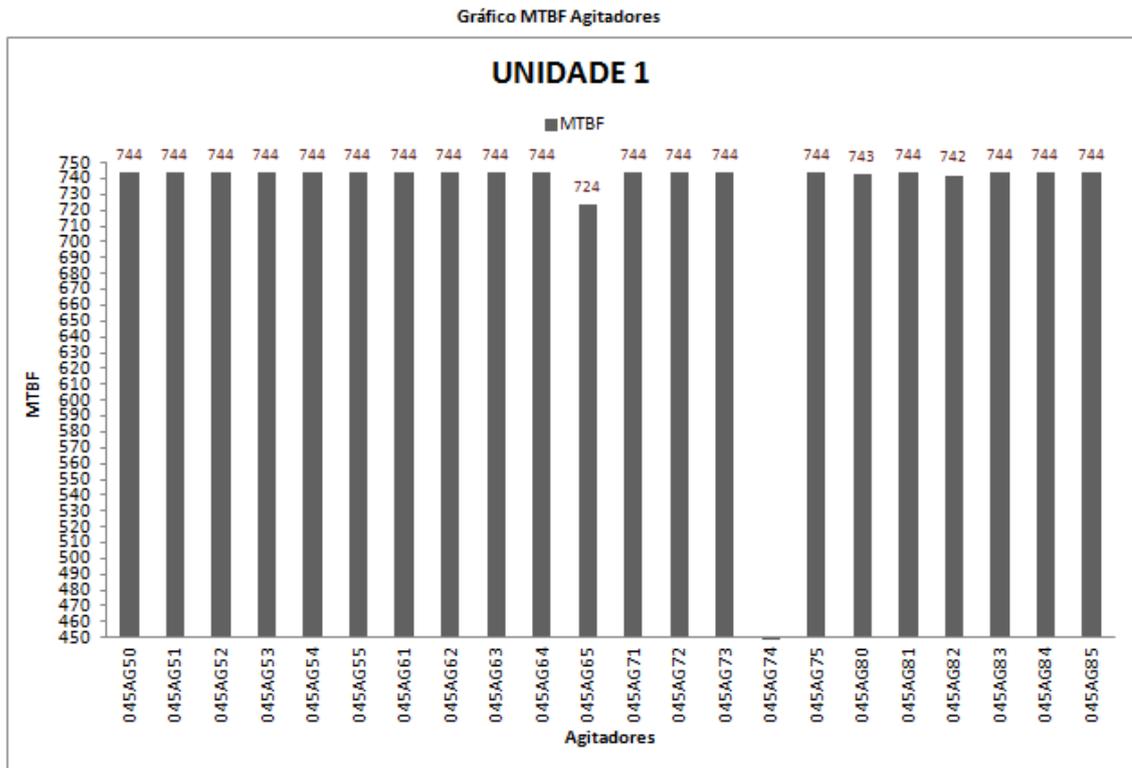


Figura 20: Gráfico de MTBF dos Agitadores da Unidade I
Fonte: Autora (2015)

4.7 Coleta de dados dos agitadores

Desde Agosto de 2014, quando o modelo de planilha de acompanhamento dos agitadores foi criado, atualizou-se diariamente, cadastraram-se falhas e paradas referentes a cada agitador, contabilizando o MTTR e MTBF mensal de cada um deles.

Os dados referentes às planilhas foram coletados e divididos em três períodos distintos: Agosto a Dezembro de 2014, Janeiro a Maio de 2015 e Junho a Outubro de 2015, para uma melhor visualização e comparação de MTBF, MTTR e disponibilidade de cada agitador.

Constatou-se o número total de falhas ocorridas em cada período referente a cinco meses, depois foi identificado os tipos que ocorreram com maior frequência para então, puxar dados referente aos agitadores que sofreram dessa falha mais comum e quando ocorreu.

- Período de Agosto a Dezembro de 2014

1. Quantidade de Falhas dos Agitadores

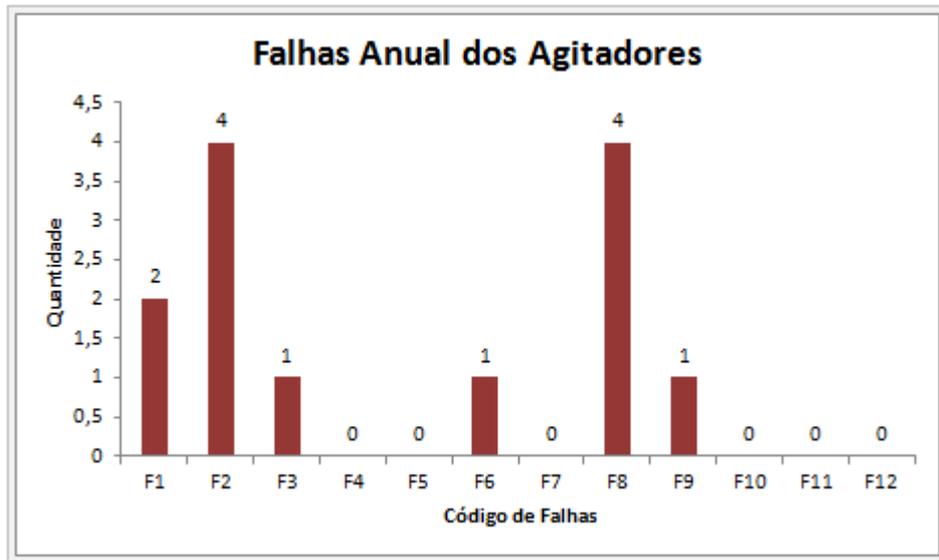


Figura 21: Gráfico de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014

Fonte: Autora (2015)

Descrição	Leg	Qt Anual
Acoplamento	F1	2
Conjunto de Engrenagens de Entrada	F2	4
Conjunto de Engrenagens Intermediário	F3	1
Conjunto de Engrenagens de Saída	F4	0
Problemas no Eixo Cardan	F5	0
Problemas na Hélice	F6	1
Retentor do Eixo de Entrada	F7	0
Problemas no Motor	F8	4
Problemas na Estrutura da Base do Redutor	F9	1
Problemas na Gaveta de Alimentação	F10	0
Queda ou Oscilação de Energia	F11	0
Outros	F12	0

Figura 22: Descritivo e legenda de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014

Fonte: Autora (2015)

Como podemos constatar com as imagens coletadas da Planilha de Relatório dos Agitadores em Agosto a Dezembro de 2014, dois tipos de falhas ocorreram com uma frequência de 4 vezes: a falha de conjunto de engrenagem de entrada e falha de problemas no motor. A figura 23 mostra de forma clara, quais ativos sofreram essas falhas específicas.

CONJUNTO DE ENGRENAGEM DE ENTRADA	QUANDO?	PROB. NO MOTOR	QUANDO?
045-AG-091	05/09/2014	045-AG-061	12/08/2014
045-AG-103	19/11/2014	045-AG-053	11/09/2014
045-AG-121	12/12/2014	045-AG-065	21/09/2014
045-AG-103	19/12/2014	045-AG-111	29/09/2015

Figura 23: Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Agosto a Dezembro de 2014
Fonte: Autora (2015)

O próximo passo foi calcular o MTBF, MTTR e disponibilidade dos 40 ativos durante este período de 5 meses e compará-los. Conforme exigências de processo, o equipamento precisa estar 100% disponível, porém, devido às situações de trabalho do mesmo, entende-se que as falhas são inevitáveis, permitindo uma disponibilidade de no mínimo 99,75%. Com isso, é aceitável que 0,25% do tempo do equipamento seja utilizado para reparos emergenciais, em casos que este tempo é ultrapassado, a gerência exige uma investigação.

Detalhamento - MTBF			
Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	3672,0	045AG90	3672,0
045AG51	3671,7	045AG91	3656,0
045AG52	3671,9	045AG92	3672,0
045AG53	3668,9	045AG93	3672,0
045AG54	3671,9	045AG94	3672,0
045AG55	3669,7	045AG101	3671,6
045AG61	3664,6	045AG102	3672,0
045AG62	3672,0	045AG103	3656,2
045AG63	3670,2	045AG104	3672,0
045AG64	3669,2	045AG111	3664,4
045AG65	3636,9	045AG112	3671,9
045AG71	3667,7	045AG113	3671,6
045AG72	3668,1	045AG114	3671,9
045AG73	3672,0	045AG120	3670,3
045AG74	3574,9	045AG121	3460,1
045AG75	3671,9	045AG122	3647,5
045AG80	3671,6	045AG123	3672,0
045AG81	3670,7	045AG124	3650,9
045AG82	3669,8		
045AG83	3672,0		
045AG84	3671,9		
045AG85	3670,3		
		Alvo MTBF	3672

Figura 24: Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de 2014
Fonte: Autora (2015)

4. MTTR dos Agitadores

Detalhamento - MTTR

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTTR	Ativo	MTTR
045AG50	0	045AG90	0
045AG51	0	045AG91	16
045AG52	0	045AG92	0
045AG53	2	045AG93	0
045AG54	0	045AG94	0
045AG55	0	045AG101	0
045AG61	6	045AG102	0
045AG62	0	045AG103	9
045AG63	0	045AG104	0
045AG64	0	045AG111	7
045AG65	35	045AG112	0
045AG71	0	045AG113	0
045AG72	4	045AG114	0
045AG73	0	045AG120	0
045AG74	97	045AG121	11
045AG75	0	045AG122	0
045AG80	0	045AG123	0
045AG81	0	045AG124	0
045AG82	1		
045AG83	0		
045AG84	0		
045AG85	0		
		Alvo MTTR	0

Figura 25: Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de 2014
Fonte: Autora (2015)

5. Disponibilidade dos Agitadores

Detalhamento - Disponibilidade

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	100,00	045AG90	100,00
045AG51	100,00	045AG91	99,56
045AG52	100,00	045AG92	100,00
045AG53	99,95	045AG93	100,00
045AG54	100,00	045AG94	100,00
045AG55	100,00	045AG101	100,00
045AG61	99,84	045AG102	100,00
045AG62	100,00	045AG103	99,75
045AG63	100,00	045AG104	100,00
045AG64	100,00	045AG111	99,81
045AG65	99,05	045AG112	100,00
045AG71	100,00	045AG113	100,00
045AG72	99,89	045AG114	100,00
045AG73	100,00	045AG120	100,00
045AG74	97,36	045AG121	99,68
045AG75	100,00	045AG122	100,00
045AG80	100,00	045AG123	100,00
045AG81	100,00	045AG124	100,00
045AG82	99,97		
045AG83	100,00		
045AG84	100,00		
045AG85	100,00		
		Alvo MTBF	100

Figura 26: Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Agosto a Dezembro de 2014
Fonte: Autora (2015)

6. Agitadores mais críticos

045AG65	Problemas no motor (Set)
045AG74	Problemas na hélice (Set)
045AG91	Conjunto de Engrenagem de Entrada (Set)
045AG121	Conjunto de Engrenagem de Entrada (Dez)

Figura 27: Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Agosto a Dezembro de 2014
Fonte: Autora (2015)

Os agitadores mais críticos do período, que tiveram a disponibilidade abaixo da aceitável, foram: AG65, AG74, AG91 e AG 121. A figura 27 mostra em detalhes o tipo de falha que cada um deles sofreu, assim como a figura 26 detalha a disponibilidade operacional de todos os agitadores neste período de agosto a dezembro de 2014.

- Período de Janeiro a Maio de 2015

1. Quantidade de Falhas Anual dos Agitadores

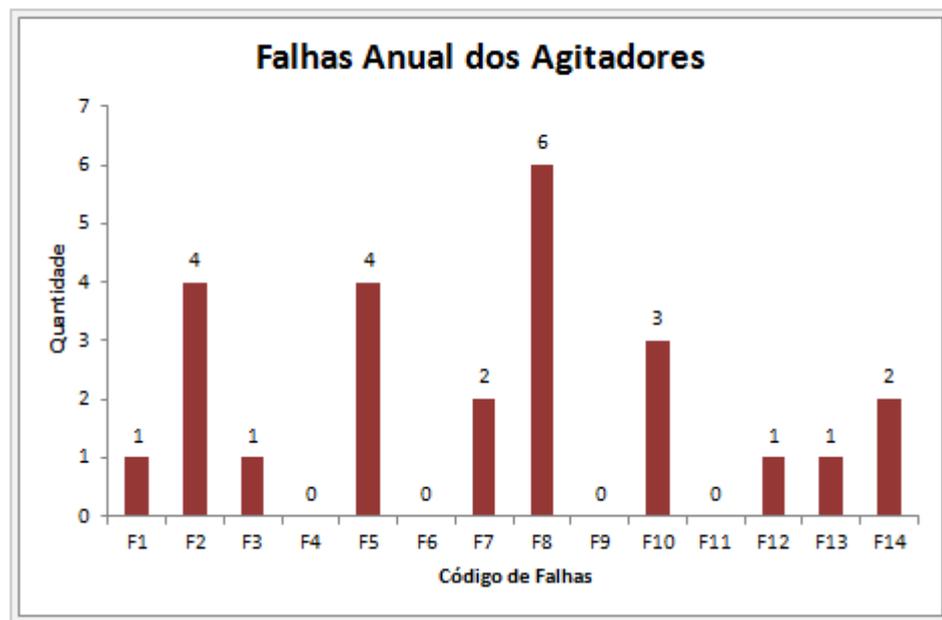


Figura 28: Gráfico de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015
Fonte: Autora (2015)

Descrição	Leg	Qt Anual
Acoplamento	F1	1
Conjunto de Engrenagens de Entrada	F2	4
Conjunto de Engrenagens Intermediário	F3	1
Conjunto de Engrenagens de Saída	F4	0
Problemas no Eixo Cardan	F5	4
Problemas na Hélice	F6	0
Retentor do Eixo de Entrada	F7	2
Problemas no Motor	F8	6
Problemas na Estrutura da Base do Redutor	F9	0
Problemas na Gaveta de Alimentação	F10	3
Queda ou Oscilação de Energia	F11	0
Vazamento de óleo	F12	1
Correção de alinhamento	F13	1
Outros	F14	2

Figura 29: Descritivo e legenda de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015
Fonte: Autora (2015)

Ao apurar os dados do período de Janeiro a Maio de 2015, verificou-se a ocorrência de vinte e cinco falhas no total. Dessas, em sua maioria foram problemas no motor do conjunto de acionamento, seguido de conjunto de engrenagens de entrada e problemas no eixo Cardan. Duas falhas foram classificadas como “outros”, pois não se encaixam nas treze listadas como mais típicas do equipamento como, troca da tampa do retentor, ou por não ter conseguido identificar de imediato o que falhou primeiro, como o redutor do AG90 encontrava-se todo danificado. Na figura 30 discrimina-se os agitadores que sofreram pelo menos uma dessas três falhas mais ocorridas no período.

2. Agitadores que tiveram a falha mais comum

CONJUNTO DE ENGENHAGEM DE ENTRADA	QUANDO?	PROB. NO MOTOR	QUANDO?	Problemas no Eixo Cardan	QUANDO?
045-AG-104	07/01/2015	045-AG-091	14/01/2015	045-AG-61	11/01/2015
045-AG-101	09/01/2015	045-AG-071	01/02/2015	045-AG-82	07/01/2015
045-AG-064	05/02/2015	045-AG-051	10/04/2015	045-AG-54	27/02/2015
045-AG-063	04/04/2015	045-AG-071	01/04/2015	045-AG-80	17/05/2015
		045-AG-081	10/03/2015		
		045-AG-081	11/04/2015		

Figura 30: Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Janeiro a Maio de 2015
Fonte: Autora (2015)

3. MTBF dos Agitadores

Detalhamento - MTBF Anual

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	3619,0	045AG90	3607,0
045AG51	3617,0	045AG91	3615,0
045AG52	3624,0	045AG92	3624,0
045AG53	3624,0	045AG93	3618,0
045AG54	3598,0	045AG94	3616,0
045AG55	3623,0	045AG101	3621,0
045AG61	3604,0	045AG102	3624,0
045AG62	3618,0	045AG103	3624,0
045AG63	3615,0	045AG104	3621,0
045AG64	3620,0	045AG111	3622,0
045AG65	3544,0	045AG112	3624,0
045AG71	3592,0	045AG113	3624,0
045AG72	3623,0	045AG114	3624,0
045AG73	3624,0	045AG120	3622,0
045AG74	3623,0	045AG121	3624,0
045AG75	3624,0	045AG122	3620,0
045AG80	3604,0	045AG123	3624,0
045AG81	3607,0	045AG124	3624,0
045AG82	3616,0		
045AG83	3624,0		
045AG84	3617,0		
045AG85	3623,0		
		Alvo MTBF	3624

Figura 31: Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015
Fonte: Autora (2015)

4. MTTR dos Agitadores

Detalhamento - MTTR Anual

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTTR	Ativo	MTTR
045AG50	5	045AG90	17
045AG51	3,5	045AG91	8
045AG52	0	045AG92	0
045AG53	0	045AG93	3
045AG54	26	045AG94	7
045AG55	0	045AG101	3
045AG61	20	045AG102	0
045AG62	5	045AG103	0
045AG63	9	045AG104	3
045AG64	5	045AG111	0
045AG65	0	045AG112	0
045AG71	32	045AG113	0
045AG72	1	045AG114	0
045AG73	0	045AG120	2
045AG74	0	045AG121	0
045AG75	0	045AG122	1
045AG80	20	045AG123	0
045AG81	18	045AG124	0
045AG82	8		
045AG83	0		
045AG84	0		
045AG85	0		
		Alvo MTTR	0

Figura 32: Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015
Fonte: Autora (2015)

5. Disponibilidade dos Agitadores

Detalhamento - Disponibilidade

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	99,86	045AG90	99,53
045AG51	99,90	045AG91	99,78
045AG52	100,00	045AG92	100,00
045AG53	100,00	045AG93	99,92
045AG54	99,28	045AG94	99,81
045AG55	100,00	045AG101	99,92
045AG61	99,45	045AG102	100,00
045AG62	99,86	045AG103	100,00
045AG63	99,75	045AG104	99,92
045AG64	99,86	045AG111	100,00
045AG65	100,00	045AG112	100,00
045AG71	99,12	045AG113	100,00
045AG72	99,97	045AG114	100,00
045AG73	100,00	045AG120	99,94
045AG74	100,00	045AG121	100,00
045AG75	100,00	045AG122	99,97
045AG80	99,45	045AG123	100,00
045AG81	99,50	045AG124	100,00
045AG82	99,78		
045AG83	100,00		
045AG84	100,00		
045AG85	100,00		
		Alvo MTBF	100

Figura 33: Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Janeiro a Maio de 2015

Fonte: Autora (2015)

6. Agitadores mais críticos

045AG54	Problema no eixo Cardan (flange do eixo de saída - Fev)
045AG61	Problema no eixo Cardan (flange do eixo de saída - Jan)
045AG71	Problema no motor (Fev), gaveta de alimentação (Mar) e motor (Abr)
045AG80	Problema no eixo Cardan (Maio)
045AG81	Problema no motor (Abr)
045AG90	Outros - Quebra do Redutor (Abr)

Figura 34: Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Janeiro a Maio de 2015

Fonte: Autora (2015)

A partir do MTBF e MTTR de cada agitador, conforme as figuras 31 e 32, tem-se a disponibilidade dos agitadores deste período (figura 33) e conseqüentemente se conhece os agitadores mais críticos (figura 34) que precisam ser explanados para uma futura análise mais apurada. O ativo 045AG71, por exemplo, que sofreu duas falhas de motor e uma de gaveta de alimentação.

- Período de Junho a Outubro de 2015

1. Quantidade de Falhas Anual dos Agitadores

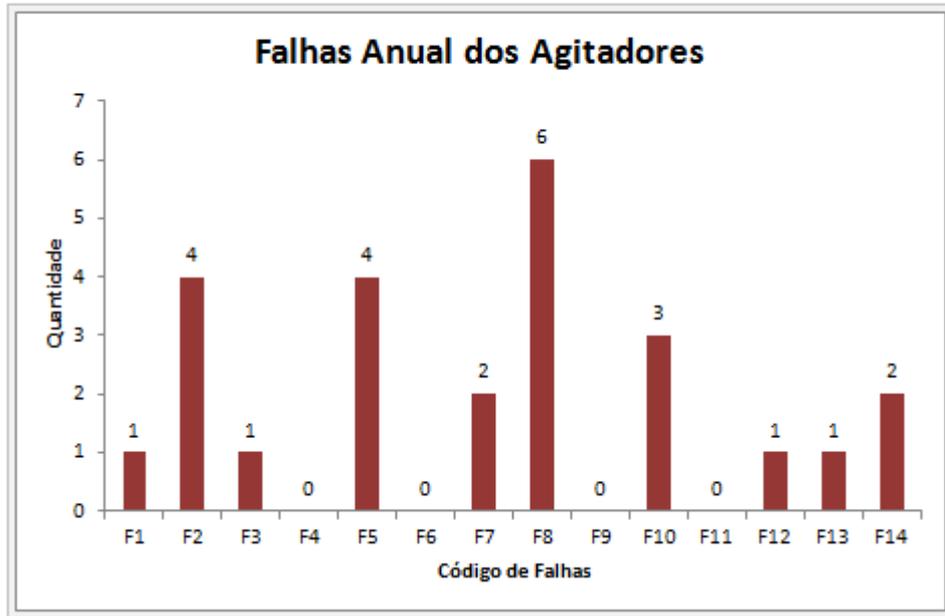


Figura 35: Gráfico de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015
Fonte: Autora (2015)

Descrição	Leg	Qt Anual
Acoplamento	F1	6
Conjunto de Engrenagens de Entrada	F2	1
Conjunto de Engrenagens Intermediário	F3	3
Conjunto de Engrenagens de Saída	F4	0
Problemas no Eixo Cardan	F5	3
Problemas na Hélice	F6	0
Retentor do Eixo de Entrada	F7	0
Problemas no Motor	F8	3
Problemas na Estrutura da Base do Redutor	F9	1
Problemas na Gaveta de Alimentação	F10	0
Queda ou Oscilação de Energia	F11	0
Vazamento de óleo	F12	0
Correção de alinhamento	F13	0
Outros	F14	1

Figura 36: Descritivo e legenda de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015
Fonte: Autora (2015)

Na coleta dos dados do período de Junho a Outubro de 2015, observa-se conforme figuras 35 e 36, a ocorrência frequente de falha de acoplamento, falha esta que não aparece com tanta frequência nos dois períodos anteriores. A figura 37 mostra qual agitador sofreu a falha de acoplamento e a falha de problemas no motor, que persistiu e ocorreu em quantidade relevante nos três períodos analisados.

2. Agitadores que tiveram a falha mais comum

Acoplamento	QUANDO?	Prob. No Motor	QUANDO?
045-AG-061	13/06/2015	045-AG-050	06/07/2015
045-AG-074	21/08/2015	045-AG-081	29/10/2015
045-AG-050	21/08/2015	045-AG-065	31/10/2015
045-AG-080	14/09/2015		
045-AG-104	03/09/2015		
045-AG-081	29/10/2015		

Figura 37: Explicativo do Gráfico de Falhas do Período de Junho a Dezembro de 2015
Fonte: Autora (2015)

3. MTBF dos Agitadores

Detalhamento - MTBF Anual

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	3619,0	045AG90	3659,0
045AG51	3672,0	045AG91	3672,0
045AG52	3672,0	045AG92	3672,0
045AG53	3672,0	045AG93	3672,0
045AG54	3663,0	045AG94	3672,0
045AG55	3672,0	045AG101	3646,0
045AG61	3667,0	045AG102	3672,0
045AG62	3672,0	045AG103	3672,0
045AG63	3672,0	045AG104	3653,0
045AG64	3672,0	045AG111	3672,0
045AG65	3660,0	045AG112	3672,0
045AG71	3672,0	045AG113	3672,0
045AG72	3672,0	045AG114	3672,0
045AG73	3672,0	045AG120	3672,0
045AG74	3616,0	045AG121	3672,0
045AG75	3672,0	045AG122	3672,0
045AG80	3650,0	045AG123	3672,0
045AG81	3668,0	045AG124	3672,0
045AG82	3672,0		
045AG83	3672,0		
045AG84	3672,0		
045AG85	3672,0		
		Alvo MTBF	3672

Figura 38: Tabela do MTBF dos Agitadores do Período de Junho a Outubro de 2015
Fonte: Autora (2015)

O ativo 045-AG-50 foi o que apresentou menor tempo médio entre falhas ocorridas, sofreu três tipos de falhas, teve um alto valor de tempo médio de reparo e consequentemente na disponibilidade operacional do próprio ativo como mostra a figura 40.

4. MTTR dos Agitadores

Detalhamento - MTTR Anual

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTTR	Ativo	MTTR
045AG50	35	045AG90	13
045AG51	0	045AG91	0
045AG52	0	045AG92	0
045AG53	0	045AG93	0
045AG54	9	045AG94	0
045AG55	0	045AG101	26
045AG61	5	045AG102	0
045AG62	0	045AG103	0
045AG63	0	045AG104	9,5
045AG64	0	045AG111	0
045AG65	6	045AG112	0
045AG71	0	045AG113	0
045AG72	0	045AG114	0
045AG73	0	045AG120	0
045AG74	19	045AG121	0
045AG75	0	045AG122	0
045AG80	22	045AG123	0
045AG81	2	045AG124	0
045AG82	0		
045AG83	0		
045AG84	0		
045AG85	0		
		Alvo MTTR	0

Figura 39: Tabela do MTTR dos Agitadores do Período de junho a Outubro de 2015
Fonte: Autora (2015)

5. Disponibilidade dos Agitadores

Detalhamento - Disponibilidade

Bancada 1		Bancada 2	
Ativo	MTBF	Ativo	MTBF
045AG50	99,04	045AG90	99,65
045AG51	100,00	045AG91	100,00
045AG52	100,00	045AG92	100,00
045AG53	100,00	045AG93	100,00
045AG54	99,75	045AG94	100,00
045AG55	100,00	045AG101	99,29
045AG61	99,86	045AG102	100,00
045AG62	100,00	045AG103	100,00
045AG63	100,00	045AG104	99,74
045AG64	100,00	045AG111	100,00
045AG65	99,84	045AG112	100,00
045AG71	100,00	045AG113	100,00
045AG72	100,00	045AG114	100,00
045AG73	100,00	045AG120	100,00
045AG74	99,48	045AG121	100,00
045AG75	100,00	045AG122	100,00
045AG80	99,40	045AG123	100,00
045AG81	99,95	045AG124	100,00
045AG82	100,00		
045AG83	100,00		
045AG84	100,00		
045AG85	100,00		
		Alvo MTBF	100

Figura 40: Tabela da Disponibilidade dos Agitadores do Período de Junho a Outubro de 2015
Fonte: Autora (2015)

6. Agitadores mais críticos

045AG50	Queima do motor (Jul); Cabo elétrico em curto e acoplamento (Set) e Eixo Cardan
045AG74	Conj. Eng. De Saída/ Acoplamento / Est. Bade so Redutor (Ago)
045AG80	Acoplamento (Set)
045AG90	Conj. De Engr. Intermediário (Set)
045AG101	Conj. De Engr. De Entrada (Jul); Conj. De Engr. Intermediário (Set)

Figura 41: Tabela de Agitadores com Disponibilidade baixa - Período de Junho a Outubro de 2015
Fonte: Autora (2015)

Dentre os agitadores mais críticos o AG50 se destacou, falhando 3 vezes durante o período e apresentando problemas no motor duas vezes. Pois em julho o motor queimou e em setembro quando ocorreu curto nos cabos elétricos, ao ser religado o motor queimou. Além disso, falha do tipo eixo Cardan leva tempo para ser reparada, pois envolve toda uma mobilização para a área, o que diminui o tempo disponível do equipamento, conforme podemos observar na figura 40.

4.8 Análise de dados dos agitadores

No primeiro período, destacam-se as falhas de conjunto de engrenagem de entrada e problemas no motor. A falha de engrenagem de entrada se repete no período seguinte, chamando atenção pela quantidade de vezes ocorrida.

Quando um agitador falha devido ao trem de entrada, o redutor é tirado por completo e levado para oficina para reparo, pois a área não disponibiliza de peças sobressalentes para troca imediata. Neste ano de 2015, foi proposto como medida de melhoria que a área tivesse itens sobressalentes como o pinhão de alta rotação (entrada) e a tampa do conjunto de entrada do redutor facilitando a troca na própria área o que contribuiria para a diminuição do tempo em que o equipamento estaria parado para o reparo.

Melhoria esta, que já podemos observar no segundo período, pois apesar de o número de falha desse item ter se repetido em quantidade, as horas de parada do equipamento diminuíram, contribuindo para a diminuição do MTTR e consequentemente aumento da disponibilidade. Ao comparar as figuras 34e 40 nota-se que os ativos que sofreram da falha de engrenagem de entrada não estão entre os mais críticos do período.

As falhas no motor elétrico foram comuns em todos os três períodos analisados. Observou-se que estas ocorreram em grande maioria nos motores da Unidade I conforme mostrado nas figuras 21, 28 e 35, os quais possuem potências menores (100CV ou 75kW) comparados aos da Unidade II (150CV ou 112,5kW). Para ilustrar a situação, quando ocorre

alguma falha no sistema de agitação, independente de ser do conjunto de agitador, falta de energia para alimentação ou mesmo falha intrínseca do motor elétrico, a parada da agitação mecânica resulta na decantação do material supersaturado, elevando o nível de sólidos sedimentados no tanque.

Quando o sistema de agitação é reestabelecido, o motor elétrico, ao ser ligado, sofre um sobretorque (necessário para resuspender o material já sedimentado). Conseqüentemente, o mesmo desarma por sobrecarga elétrica, sobreaquecimento devido à corrente acima da nominal e acima do fator de serviço ou mesmo chega a queimar por desgaste das bobinas e enrolamentos devido às várias partidas do conjunto, onde a corrente pode chegar de 6 a 8 vezes a nominal durante este período, já que o mesmo não foi dimensionado para resuspensão de sólidos exigindo uma carga mais elevada.

Outra falha comum observada no período de Janeiro a Maio de 2015 foi de problema no eixo Cardan. Este tipo de falha aconteceu em sua maioria na Unidade I e isto ocorre devido ao aumento de concentração do hidrato a cima do limite de controle, assim, aumenta o torque requerido para a agitação, que se houver presença de trinca no eixo a mesma será suficiente para causar o cisalhamento do mesmo. Além disso, a falta de inspeção no eixo, mais precisamente no seu flange, que poderia ser realizada através de LP, dificulta o conhecimento do problema por parte da equipe de manutenção.

No terceiro período, a falha predominante foi acoplamento. O acoplamento utilizado nos precipitadores é do tipo flexível com elemento elástico de modelo AT-90 do fabricante Antares, e está perfeitamente dimensionado de acordo com a potência real e fator de serviço aplicado, de forma a garantir a absorção de alguns choques e o correto alinhamento entre os eixos. Por servir como um item de sacrifício sua função é preservar a integridade física de outros itens. Dentre os agitadores mais críticos observados na Figura 41, o AG80 merece atenção e explicação. Pois não é comum apenas a falha do tipo acoplamento ter um MTTR alto, de 22 horas, conforme mostra a figura 39. Porém, como este tipo de falha ocorreu com bastante frequência, a área não disponibilizava mais este item em estoque e solicitou a oficina central que o enviasse. Além do elemento elástico, o cubo do eixo redutor foi danificado, o que resultou um tempo maior de parada, pois foi necessário buscar a medida do diâmetro externo do eixo para a furação do novo cubo. Em média o tempo de parada para troca do acoplamento é de 1 hora.



Figura 42: Imagem do acoplamento AT-90 Antares.
Fonte: Antares (2015)

Como se pôde verificar, os ativos com um MTTR maior que 10, foram os que justamente tiveram a disponibilidade a baixo da aceitável. Então, como ao calcular o MTBF não se levou em consideração o tempo de parada para *overhaul* do tanque, (contabilizando apenas o tempo de parada devido às falhas), para aumentarmos a disponibilidade do ativo precisamos ser mais eficazes ao repará-lo. Ou seja, a manutenção corretiva precisa estar mais bem preparada.

4.9 Sugestões de melhoria

A primeira melhoria sugerida pela engenharia da área foi cadastrar itens sobressalentes no almoxarifado, como o eixo, pinhão de alta rotação, retentor e a tampa do conjunto de entrada, para que a troca do conjunto de engrenagens de entrada pudesse ser realizada na própria área, sem precisar encaminhar o conjunto para oficina.

Além disso, propôs-se a troca do retentor de vedação de nitrílica inteiriço (Figura 44), utilizado pela área, por um retentor bipartido com vedação de viton (figura 45) visando diminuir o tempo de troca do mesmo, caso quebre apenas o retentor, ele pode ser trocado sem precisar tirara tampa e desmontar flange e acoplamento, eliminando assim a etapa de montagem e desmontagem do acoplamento (conforme ilustrada na figura 43), conseqüentemente o realinhamento e possíveis falhas mecânicas devido a erros de alinhamento gerados após a troca do retentor e elemento elástico. Outro motivo para a troca foi para aumentar a vida útil do item adequando às condições de operação do equipamento, pois para rotações a cima de 1.000 rpm é aconselhado um material que suporte um maior aquecimento e desgaste como é o caso do viton.

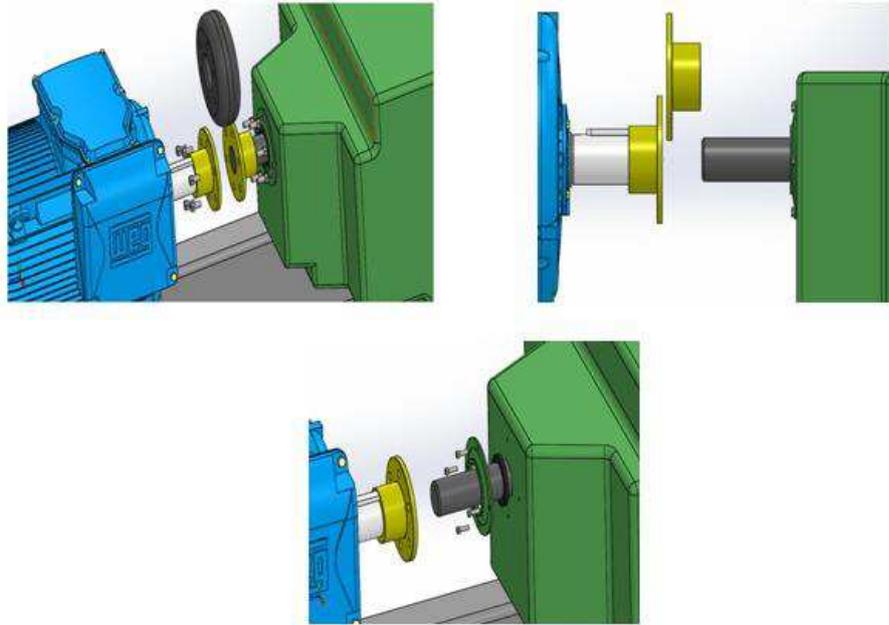


Figura 43: (a) Imagem ilustrando remoção radial do elemento elástico; (b) Imagem ilustrando a remoção do flange do acoplamento lado redutor; (c) Imagem ilustrando a remoção de parafusos, da tampa e retentor.
Fonte: Alumar (2015)



Figura 44: Imagem do retentor de vedação de nitrílica inteiro.
Fonte: Autora (2015)



Figura 45: (a) e (b) imagens do retentor bipartido com vedação de viton.
Fonte: Autora (2015)

Em seguida, foi criado um checklist (Anexo8) completo de montagem e desmontagem do redutor para utilização da oficina central, a fim de acompanhar

características do óleo, dados da preditiva, orientar o número de estoque de cada item do equipamento caso o técnico tenha dúvidas e se a dúvida persistir é necessário consultar o engenheiro da área ou da oficina central. Além disso, criou-se um quadro para gerenciamento de laudos de preditiva dos agitadores para facilitar o planejamento do serviço de ações corretivas como realinhamento, troca de retentor e eliminação de pontos quentes a fim de evitar falhas.

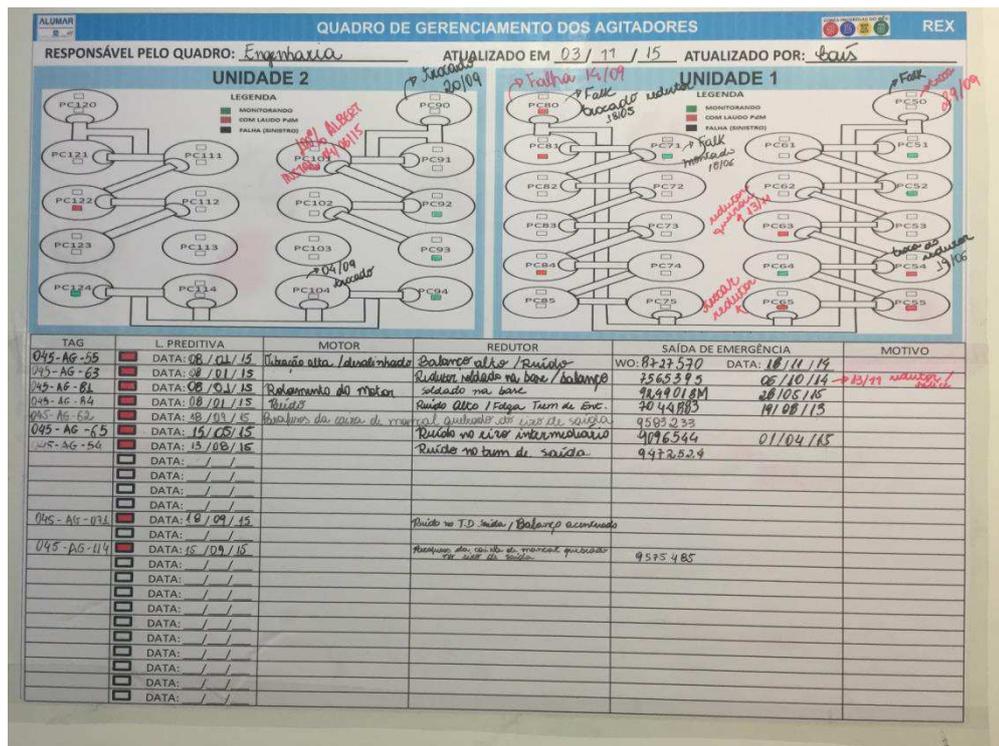


Figura 46: Imagem do quadro de gerenciamento de laudos de preditiva dos agitadores.
Fonte: Autora (2015)

Como sugestão de melhoria para problemas decorrentes de motor, a equipe de engenharia elétrica da área propôs instalar *softstarters* nos motores a fim de controlar a corrente de partida, tensão da barra e torque de partida. Visando diminuir o índice de queima de motores.

Para o eixo Cardan, solicitou-se a elaboração de um novo projeto que tivesse um reforço no flange de ligação de saída do redutor e o eixo Cardan e nervuras para aumentar a resistência da tensão de cisalhamento a qual o eixo é submetido.

Para diminuir as causas de falha por quebra de acoplamento a engenharia mecânica da área irá criar um checklist para montagem de campo do conjunto de acionamento de forma a verificar o correto alinhamento de motor e redutor e hélice e draft tube.

Além dessas melhorias idealizadas pela área da precipitação, serão enviados os resultados desse estudo para a equipe de engenheiros de confiabilidade da empresa, para que eles desenvolvam um estudo direcionado e mais aprofundado sobre os modos falhas de um dos equipamentos mais importantes de todo o processo produtivo da fábrica, para então modificarem o projeto a fim de diminuir o tempo em que o ativo não está disponível para o processo e as perdas financeiras devido a esta parada não programada.

5 CONCLUSÃO

Este estudo foi realizado na Refinaria de Alumina da empresa Alumar mais precisamente na área da precipitação e evidenciou a importância de adotar uma estratégia de manutenção dentro de um sistema produtivo industrial onde precisa-se explorar a performance máxima de um equipamento que trabalha em regime de serviço integral e toda e qualquer hora de parada impacta em perdas de produção e conseqüentemente a lucratividade.

Através das ferramentas da Manutenção Centrada na confiabilidade pôde-se encontrar os principais modos de falha dos precipitadores, saber quais ativos apresentavam esses tipos de falhas mais comuns e analisar o MTBF, MTTR e Disponibilidade de cada um deles.

Todo esse levantamento ajudou a engenharia de manutenção da Precipitação a aumentar a confiabilidade do principal ativo da área, trabalhar em melhorias e reformular a estratégia e os planos de manutenção a fim de minimizar a falha decorrente. Além disso, esses dados serviram para comprovar estatisticamente o que levava a parada por falha do equipamento, com mais frequência e assim, conseguir que a equipe de Engenharia de Confiabilidade da indústria focasse em um estudo direcionado e mais aprofundado a fim de desenvolver um projeto de melhoria duradouro.

A prática de utilizar ferramentas da engenharia de confiabilidade proporciona um maior desempenho operacional do equipamento, pois adota os tipos de manutenções específicas mais eficazes a ele, além de garantir que o capital investido na manutenção será onde o efeito da mesma é maior, proporcionando um aumento de sua vida útil, melhoria de condições de segurança e meio ambiente além de contribuir para o bom funcionamento do processo produtivo minimizando as perdas por falhas inesperadas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico:** elaboração de trabalhos na graduação. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

ARCURI FILHO, Rogério. **Medicina de sistemas:** Uma abordagem holística, estratégica e institucional para a gestão de manutenção. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994

ESTRUTURAS e Políticas de Manutenção. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. Apostila de MBA em Engenharia de Manutenção.

GURSKI, Carlos Alberto. **Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 2002. Disponível em:

<http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/confiabilidade_e_manutencao.pdf>
Acesso em: 13 setembro 2015

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção:** função estratégica. 3ª. ed. Rev. e Atualizada. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

LCE. **Reability Excellence for managers.** South Carolina, USA: Life Cycle Engineering-LCE, 2006. Studeguide.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa:** planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MONCHY, François. **A Função Manutenção.** São Paulo: Durban, 1987.

SANTOS, L. A. **Avaliação e Otimização do Plano de Manutenção Preventiva da Refinaria da Alumar.** Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, Renata. **Apostila de metodologia científica.** Brusque: ASSEVIM – Associação Educacional do Vale do Itajaí-Mirim, fev. 2008.

SIMEI, Luiz C. **A Definição da Manutenção.** Set. 2012. Disponível em:

<<http://manutenabilidade.blogspot.com.br/2012/09/a-definicao-da-manutencao.html>>. Acesso em: 13 setembro 2015.

TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. **FMEA:** Análise do Tipo e Efeito de Falha. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>>. Acesso em: 27 setembro 2015.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed., 2002.

ALUMAR. **Vídeo Institucional**. Disponível em:
<https://www.alcoa.com/brasil/pt/info_page/sobre_a_alcoa.asp>. Acesso em: 17 setembro 2015.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 2. ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1: INSPEÇÃO PREVENTIVA MECÂNICA

7D PREVENTIVA MECANICA SEMANAL EM AGITADOR

*** PROTEÇÃO DE MÁQUINAS *****

***** INSPECIONAR VISUALMENTE/AJUSTAR *****

ATENTAR QUANTO A:

1-CONDIÇÃO DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO;

2-ESTRUTURA INTEGRAL SEM DANOS OU CORROSÃO;

3-CONDIÇÃO DE FALHA NA PROTEÇÃO DO CONTATO COM PESSOAS;

4-TROCAR/REPOR/REPARAR ITENS ACIMA SE NECESSÁRIO;

***** INSPECIONAR *****

5-REDUTOR QUANTO AO NÍVEL DE ÓLEO;

OBS: COMPLETAR NÍVEL DE ÓLEO SE NECESSÁRIO;

6-REDUTOR QUANTO A RUÍDO, TEMPERATURA E VIBRAÇÃO;

OBS: ACIONAR A PREDITIVA

7-BASE DO REDUTOR QUANTO À FIXAÇÃO DOS PARAFUSOS E TRINCAS;

OBS. TROCAR OU APERTAR OS PARAFUSOS;

8-MOTOR/REDUTOR QUANTO AO RETENTOR DANIFICADO E/OU VAZAMENTO DE ÓLEO NO EIXO DE ENTRADA;

OBS: PROGRAMAR TROCA, SE NECESSÁRIO

9-CONJUNTO MOTOR/REDUTOR QUANTO À LIMPEZA DO CONJUNTO.

OBS. PROVIDENCIAR LIMPEZA, SE NECESSÁRIO.

ANEXO 2:INSPEÇÃO PREVENTIVA DE 7 DIAS (REVISADA)

DESCRIÇÃO: 7D 045XMANUT MECPC-045X INSP PREV NO AGITADOR

Orientações:

1. Qualquer oportunidade detectada durante a execução desta WO deve ser registrada na própria WO para análise "pós-trabalho" do encarregado para identificar novas anormalidades, sugestões de melhorias das técnicas e de gestão, e outros.
2. Tarefas preditivas que usem padrões de referencia devem ter seus valores registrados.
3. Obrigatório responder "Encontrado problema?". No caso de não haver uma resposta será considerado como tarefa não realizada.
4. Caso seja encontrado problema, é obrigatório a responder "Corrigido?". No caso de não ter resposta, será considerado como falha de preenchimento e o encarregado deve reorientar.
5. Falhas prematuras decorrentes da má qualidade de execução ou falha no preenchimento são de responsabilidade do executante

Ter em mãos os procedimentos relacionados a esta atividade listados abaixo:

Revisada por: VÍTOR VIANA / LAIS SANTOS / FRANCISCO SÉRGIO / JOÃO GONÇALVES

BPAP 4003549: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45

001 INSPECIONAR CONDIÇÃO DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DAS BASES;

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

002 INSPECIONAR A BASE DA ESTRUTURA METÁLICA SE HÁ DANOS OU CORROSÃO;

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

003 INSPECIONAR CONDIÇÃO PROTEÇÃO DE MÁQUINA;

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

004 INSPECIONAR REDUTOR QUANTO AO NÍVEL DE ÓLEO E SE HÁ VAZAMENTO DE ÓLEO PELOS RETENTORES OU CONEXÕES

Há vazamento de óleo? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

005 INSPECIONAR CONJUNTO MOTOR/REDUTOR QUANTO À LIMPEZA DO CONJUNTO.

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

006 INSPECIONAR ELEMENTO ELÁSTICO DO ACOPLAMENTO QUANTO A RASGOS OU AVARIAS.

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

007 INSPECIONAR PONTOS DE LUBRIFICAÇÃO A GRAXA NO REDUTOR E MOTOR.

Encontrado vazamento de graxa? ()S()N

Local de vazamento: _____

008 INSPECIONAR SE O CONJUNTO EM OPERAÇÃO ESTÁ EM BALANÇO.

Existe balanço no conjunto? ()S()N

Relatar : _____

009 VERIFICAR SE HÁ BATIDAS DA HÉLICE NO DRAFT TUBE DURANTE OPERAÇÃO.

Encontrado batidas? ()S()N

Relatar: _____

ANEXO 3: PREVENTIVA MECÂNICA - OVERHAUL

336D PREVENTIVA MECANICA ANUAL EM AGITADOR

Tarefa.....Ponto

* Instrucao

Insp/ajustar cond parafuso fixacao....Protecao de maquinas

* Trocar/repor/reparar se necessario

Inspecionar/ajustar.....Estrutura da protecao de maquinas

* Sem danos ou corrosao/trocar se necessario

Insp/ajustcond falha contat pessoas..Protecao de maquinas

* Trocar/repor/reparar se necessario

Insp quanto ao nivel de oleo.....Redutor

* Completar nível de oleo se necessario

Insp quanto ao nivel de ruido.....Redutor

* Acionar a preditiva

Insp quanto a temperatura.....Redutor

* Acionar a preditiva

Insp quanto avibracao.....Redutor

* Acionar a preditiva

Insp base quanto afix parafusos.....Redutor

* Trocar/reapertar os parafusos

Insp base quanto afix e trincas.....Redutor

* Trocar/reapertar os parafusos

Insp quanto ao retentoresdanif....Motor/Redutor

* Programar troca se necessario

Insp vazam oleo eixo de entrada.....Motor/Redutor

* Programar troca se necessario

Insp quanto a limpeza do conjunto.....Motor/Redutor

* Providenciar limpeza se necessario

Insp quanto a avarias/trincas.....Motor/redutor

Inspqtoalinhconjmotorxredutor.....Acoplamento

* Corrigir alinhamento se necessario

Inspqto a desg grade elast/cubos.....Acoplamento

* Providenciar troca se necessario

Insp quanto afixparafallen.....Mancal superior do redutor

* Providenciar troca se necessario

Insp quanto afixparafallen.....mancal inferior do redutor

* Providenciar troca se necessario

Insp quanto afix parafusos.....Base do motor

* Providenciar troca/reaperto se necessario

Insp quanto afix parafusos.....Base do redutor

* Providenciar troca/reaperto se necessario

Insp quanto afix parafusos.....Viga de sustentacao

* Providenciar troca/reaperto se necessario

Elaborado por Leonardo Silva/Claudemir/Edson

Motivo: Projeto Alref U2

ANEXO 4: PREVENTIVA MECÂNICA DE 504 DIAS (REVISADA)

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: 504D 045XMANUT MECPC-045X PREVENTIVA NO AGITADOR

Orientações:

1. Qualquer oportunidade detectada durante a execução desta WO deve ser registrada na própria WO para análise "pós-trabalho" do encarregado para identificar novas anormalidades, sugestões de melhorias das técnicas e de gestão, e outros.
2. Tarefas preditivas que usem padrões de referencia devem ter seus valores registrados.
3. Obrigatório responder "Encontrado problema?". No caso de não haver uma resposta será considerado como tarefa não realizada.
4. Caso seja encontrado problema, é obrigatório a responder "Corrigido?". No caso de não ter resposta, será considerado como falha de preenchimento e o encarregado deve reorientar.
5. Falhas prematuras decorrentes da má qualidade de execução ou falha no preenchimento são de responsabilidade do executante.

Ter em mãos os procedimentos relacionados a esta atividade listados abaixo:

Revisada por: VÍTOR VIANA / LAÍS SANTOS / FRANCISCO SÉRGIO / JOÃO GONÇALVES

BPAP 4003549: Estratégia de Manutenção dos Precipitadores da área 45

001 VERIFICAR E AJUSTAR OS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DA BASE;

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

002 RECUPERAR SE NECESSÁRIO, ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DE MÁQUINA;

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

003 CHECAR COM A ENGENHARIA DA ÁREA OU SUPERVISÃO SE O EQUIPAMENTO POSSUI LAUDO DE PREDITIVA

Existe laudo? ()S()N De que tipo? ()Mecânico ()Elétrico Corrigido: ()S()N

Relatar Manutenção executada:_____

004 COMPLETAR NÍVEL DE ÓLEO ISO VG320, CASO NECESSÁRIO.

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar:_____

005 TROCAR RESPIRO (ESTOQUE 801102010), CASO NECESSÁRIO.

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

006 TROCAR ACOPLAMENTO (ESTOQUE 801134299) COM AVARIA, CASO NECESSÁRIO.

Encontrado problema? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

007 CASO O REDUTOR NÃO SEJA TROCADO, SEGUIR COM A LIMPEZA DO CONJUNTO (MOTOR-REDUTOR)

Executado o serviço? ()S()N

Relatar: _____

008 CHECAR SOLDAS DA ESTRUTURA DA BASE METÁLICA DO CONJUNTO DE ACIONAMENTO. ELIMINAR TRINCAS, CASO NECESSÁRIO. E VERIFICAR ALINHAMENTO.

Executado o serviço? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

009 TORQUEAR TODOS OS PARAPARAFUSOS EXISTENTES NO CORPO DO CONJUNTO INCLUINDO MANCAIS.

Executado o serviço? ()S()N Corrigido? ()S()N

Relatar: _____

010 CHECAR EMPRENO DO EIXO CARDAN BEM COMO A EXISTÊNCIA DE POSSÍVEIS TRINCAS NAS SOLDAS DOS FLANGES.

Eixo empenado? ()S()N Eixo substituído? ()S()N Encontrado trincas? ()S()N

Relatar: _____

011 CHECAR HÉLICE QUANTO AO DESGASTE E/OU FUROS DAS PÁS.

Encontrado anomalias? ()S()N Se SIM, repassar a engenharia da área.

Relatar: _____

012 CHECAR HÉLICE QUANTO AO ALINHAMENTO ENTRE HÉLICE E DRAFT TUBE. (VER DESENHO DF-045-26-0010)

Encontrado problema? ()S()N Se SIM, repassar a engenharia da área.

Relatar: _____

013 REALIZAR AJUSTE DE TENSIONAMENTO DOS TIRANTES LATERAIS SUPERIORES E INFERIORES E/OU SUBSTITUIR, CASO NECESSÁRIO.-

Encontrado tirante frouxo ?()S()N Foi trocado? ()S ()N

Relatar: _____

014 SUBSTITUIR OU MONTAR TIRANTES VERTICAIS SUPERIORES DE SUSTENTAÇÃO DO DRAFT TUBE E/OU SUBSTITUIR, CASO NECESSÁRIO.

Encontrado tirante? ()S()N Foi trocado? ()S ()N

Relatar:_____

015 CHECAR POSIÇÃO E ALINHAMENTO DAS PERNAS (6 TUBOS DE $\Phi 8''$ XS) DE SUSTENTAÇÃO DO DRAF TUBE.

Tubo empenado? ()S()N Foi alinhado? ()S ()N

Relatar:_____

016 VERIFICAR ESTADO DAS VALVULAS DE FUNDO (ALCOA M34-A) QUANTO A OPERACIONALIDADE.

Está permitindo passagem? ()S()N Eixo empenado? ()S ()N

Relatar:_____

017 GARANTIR ALINHAMENTO DO CONJUNTO MOTOR-REDUTOR ANTES DE VOLTAR A OPERAR.

Está alinhado? ()S()N

Relatar:_____

ANEXO 5: QUADRO FMEA

Equipamento / Tag	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da Falha	Contramedida	Prevenção			
PRECIPITAD ORES E TANQUES DE SEMENTE:	Falha no Conjunto Agitador (Hélice e Draft Tube)	Perda de tanque	Alta	Tombamento do Draft Tube	Realinhamento do Draft Tube	Inspeção visual drafttube/tira nte			
				Quebra do eixo Cardan	Substituição do eixo	Preventiva Mecânica			
				Quebra da hélice	Substituição da hélice	Manutenção Mecânica - Overhaul			
045-PC-90 045-PC-91 045-PC-92 045-PC-93 045-PC-94 045-PC-101 045-PC-102 045-PC-103 045-PC-104 045-PC-111 045-PC-112 045-PC-113 045-PC-114 045-PC-120 045-PC-121 045-PC-122 045-PC-123 045-PC- 124045B-TQ- 51045B-TQ-52	Falha no Conj. Acionamento (Redutor - Motor)	Perda do tanque com possível perda de produção	Alta	Falha do motor	Substituição do conjunto	Preditiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação			
Falha do redutor				Substituição do conjunto	Preditiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação				
Quebra no acoplamento no eixo de entrada e flange de saída				Substituição do acoplamento	Manutenção Preditiva e Preventiva Mecânica				
Falha Gaveta ou do CCM				Subst. Dos fusíveis/gaveta/ soft starter/chave seccionadora/ inversor (quando houver)	Preditiva e Preventiva Elétrica				
Sobrecarga no conjunto rotativo (redutor) do Agitador				Substituição do conjunto	Plano operacional de lavagem caustica				
Falha nos cabos elétricos				Emenda/ Lançamento de novos cabos	Saída do tanque para manutenção				
					Monitoramen to preditivo: Vibração, Ruído, Visual, Óleo.				
					Preventiva Elétrica				
045-PC-50 045-PC-51 045-PC-52 045-PC-53 045-PC-54 045-PC-55 045-PC-61 045-PC-62 045-PC-63 045-PC-64 045-PC-65 045-PC-71 045-PC-72 045-PC-73 045-PC-74 045-PC-75 045-PC-80 045-PC-81 045-PC-82 045-PC-83 045-PC-84 045-PC85				Falha na válvula de fundo obstruída	Perda do tanque com possível perda de produção		Obstrução da válvula	Desobstrução por sol. Cáustica	Plano de exercício de válvula

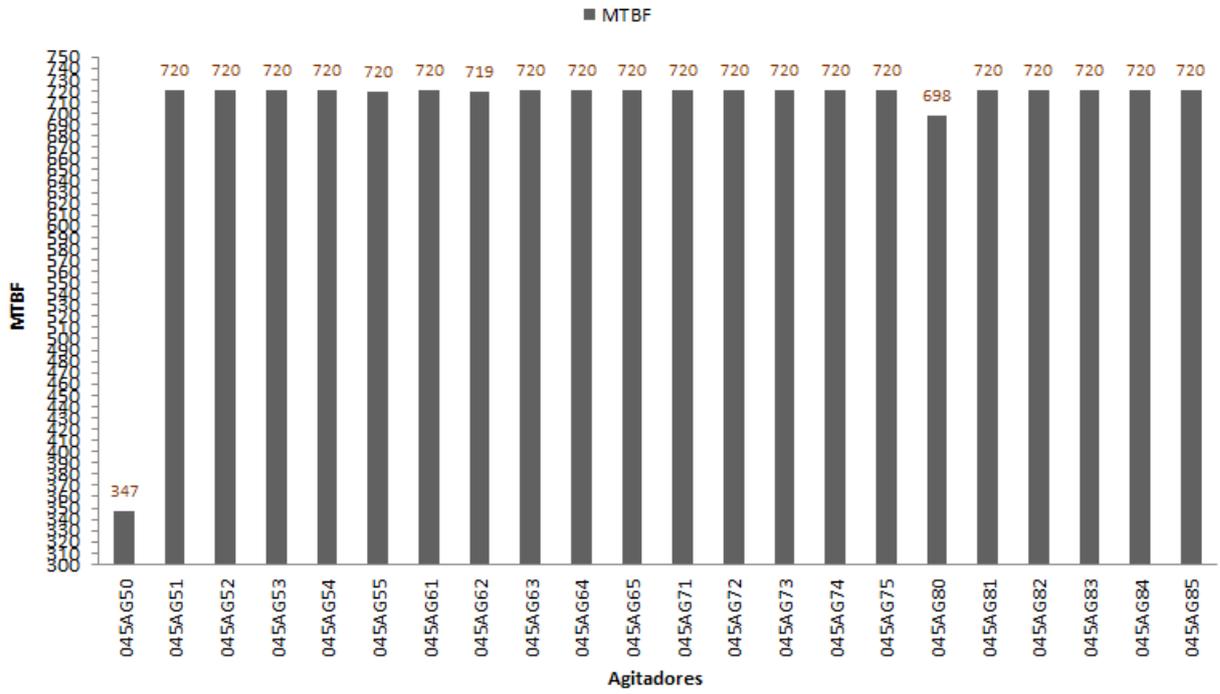
Equipamento / Tag	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da Falha	Contramedida	Prevenção
			Alta	Empeno do eixo	Trocar válvula	
				Válvula dando passagem		
				Falha do sistema pneumático (acionamento)		
	Calha Transferência obstruída/semi-obstruída	Perda do tanque com possível perda de produção	Alta	Acúmulo de material	Limpeza da calha de transferência	Plano Preventivo operacional de Inspeção e limpeza
				Ruptura das vedações	Trocar vedações	
	Alto Nível de Sólido sedimentado no fundo do tanque.	Perda do tanque/ Possível perda de produção	Alta	Fim vida útil do tanque	Saída do tanque de operação	Overhaul
				Oscilação/ queda de energia	Esperar o retorno do sistema	Conectar Controladores à alimentação segura e garantir manutensões na UPS da área
				Desgaste da hélice	Substituição / Reparo da hélice	Plano operacional de saída de tanque para manutenção
				Válvulas de descarga travada fechada/semi-fechada	Trocar válvula	Lubrificação/ Exercício das válvulas
	BOMBAS DE TRANSFERÊNCIA (PUMP-OFF) 045-BA-21 045-BA-22 045-BA-23 045-BA-26 045-BA-52 045-BA-53 045-BA-72 045-BA-73	Não bombeia	Impossibilidade de recirculação / transferência no PC	Média	Obstrução das linhas de descarga ou sucção	Lavagem cáustica das linhas de sucção e descarga
Válvulas descarga/sucção travada fechada					Trocar válvula	Lubrificação das válvulas/Exercício das Válvulas
Quebra de correias					Troca de correia	Preventiva mecânica
Quebra/travamento dos rolamentos da bomba/motor					Troca do rolamento	Preventiva de Lubrificação, Manutenção Preventiva e Preditiva
Falha Gaveta ou do CCM					Subst. Dos fusíveis/gaveta/ soft starter/chave seccionadora/inversor (quando houver)	Preditiva e Preventiva Elétrica

Equipamento / Tag	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da Falha	Contramedida	Prevenção	
				Falha do motor	Substituição do conjunto	Preditiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação	
				Falha nos cabos elétricos	Emenda/Lançamento de novos cabos	Preventiva Elétrica	
				TSH (Sensor Temp. carcaça da bomba) em falha	Ajuste/troca TSH	Preventiva Elétrica	
	Bomba com baixo rendimento	Atraso na recuperação do tanque/retirada para manutenção	Média	Correias folgadas	Reajuste/troca de correias	Preventiva Mecânica	
				Desgaste das polias	Troca de polias		
				Rotor com folga em relação a placa frontal	Troca do rotor		
				Scale ou corpo estranho no interior da bomba	Lavagem cáustica		
				Desgaste dos internos	Troca dos internos	Manutenção Preditiva e Preventiva Mecânica	
	BOMBAS DE POÇO 045-BP-51 045-BP-52 045-BP-53 045-BP-54 045-BP-71 045-BP-72 045-BP-73 045-BP-74	Não bombeia	Alagamento da área	Baixa	Obstrução das linhas de sucção	Lavagem cáustica das linhas de sucção e descarga	Inspeção de linhas
					Quebra de correias	Troca de correia	Preventiva mecânica
Quebra/travamento dos rolamentos da bomba/motor					Troca do rolamento	Preventiva de Lubrificação, Manutenção Preventiva e Preditiva	
Falha do motor					Substituição do conjunto	Preditiva, Preventiva Elétrica e Preventiva de Lubrificação	
Falha Gaveta ou do CCM					Subst. Dos fusíveis/gaveta/soft starter/chave seccionadora/inversor (quando houver)	Preditiva e Preventiva Elétrica	
Falha nos cabos elétricos					Emenda/Lançamento de novos cabos	Preventiva Elétrica	
Falha na chave de nível					Limpeza/Troca dos Eletrodos de Nível	Preventiva Elétrica	
Bomba com baixo rendimento		Alagamento da área		Semi-obstrução das linhas de sucção	Lavagem cáustica das linhas de sucção	Inspeção no poço	

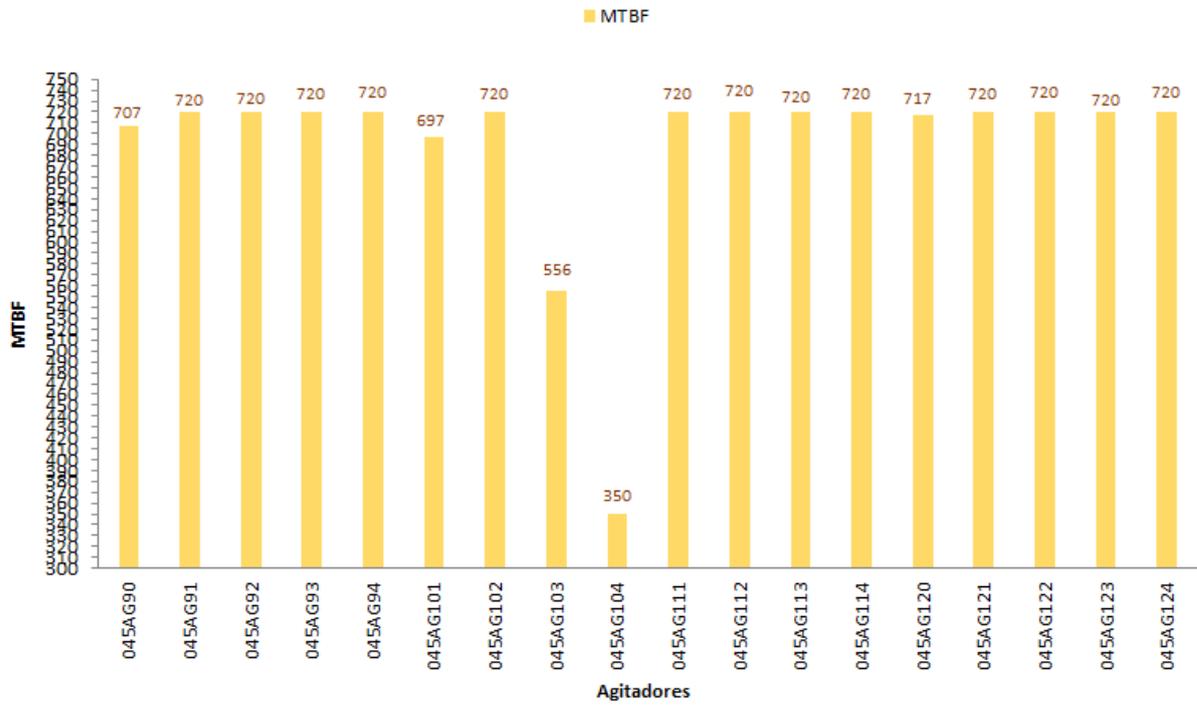
Equipamento / Tag	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da Falha	Contramedida	Prevenção
			Baixa	Correias folgadas	Reajuste/troca de correias	Preventiva Mecânica
				Desgaste das polias	Troca de polias	
				Rotor desregulado	Ajuste do rotor	
				Desgaste dos internos	Troca dos internos	Manutenção Preditiva e Preventiva Mecânica

ANEXO 7: PLANILHA GRÁFICOS (MTBF E MTTR)

UNIDADE 1



UNIDADE 2



ANEXO 8: CHECKLIST NA OFICINA CENTRAL

ALUMAR		RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO DOS REDUTORES LIGHTNIN MODELO 882				FOLHA 1/4 REV - 00 FEV/2014			
		045-AG-030/091/092/093/094/101/102/103/104/111/112/113/114/120/121/122/123/124							
IDENTIFICAÇÃO	TAG DE ORIGEM		PROCEDIMENTO	4004503 R005	SUPERVISOR OFICINA				
	NUMERO DE SERIE		DESENHO DE REFERENCIA	DF-045-26-0038	DATA				
	ST		MECANICO		ENG. MANUT. ÁREA				
	WO		DATA		DATA				
LUBRIFICAÇÃO	Ultimo relatório de lubrificação emitido pela preditiva da refinaria		DATA		Existe não conformidade relatada		SIM Não		
	viscosidade diferente da	SIM Não	Ferrografia Quant. (DR): PLP (modo de desgaste)	L = Partículas > 5µm	S = Partículas < 5µm	Existe recomendação para troca do óleo			
	Relate a não conformidade resumidamente:								
Endereço dos relatórios de lubrificação da Refinaria: O:\Teams\Refinaria\Eng&Maunt\Mecanica\Public\Lubrificação Refinaria									
VIBRAÇÃO	Relatório de vibração emitido pela preditiva antes da falha ou manutenção		DATA:		Existe não conformidade relatada		SIM Não		
	Comentários do ultimo relatório de vibração emitido pela preditiva antes manutenção								
	Vel. Max. RMS Norma Alcoa 31.4	Vel. Máxima Encontrada	Ponto mais crítico	Vel. Máxima Deixada	Ponto mais crítico				
	mm/s	mm/s		mm/s					
H 3,8	H		H						
V 3,8	V		V						
A 3,8	A		A						
Avaliação efetuada em função	Desbalançamento	Desalinhamento	Egre-nagem entrada	Egre-nagem saída	Peças frouxas / folgadas	Rola-mentos			
Comentário do espectro e frequências da análise de vibração									
TESTE FINAL	Relatório de vibração após manut. - TESTE DE BANCADA		DATA:	Aprovado	SIM Não	Temperatura após 2 horas de operação - TESTE DE BANCADA	°c		
	Comentar restrições caso exista:					Corrente elétrica - TESTE DE BANCADA	A		
						Óleo utilizado - TESTE DE BANCADA	cSt		
TORQUE: PARAF. E CONTRAPORCA							TAB. GERAL DE TORQUE P/ PARAFUSOS		
	ITEM	TAMANHO DA ROSCA	ELEMENTO MECÂNICO	TORQUE RECOM.	TORQUE ENCONT.	TORQUE DEIZADO	TAMANHO DA ROSCA	TORQUE ROSCA PADRAO	TORQUE INSERÇÃO NYLOK
	815	2"NF	CONTRA PORCA	610 Nm			3/8 x 16	37 Nm	43 Nm
	904	2"NF	CONTRA PORCA	610 Nm			1/2 x 13	89 Nm	102 Nm
	715	1/2 x 13	PARAF. C/ CABEÇA HEX HD (NYLOK)	102 Nm			9/16 x 12	123 Nm	142 Nm
	511	3/4 x 10	PARAF. C/ CABEÇA HEX HD (NYLOK)	352 Nm			5/8 x 11	170 Nm	196 Nm
	712	1/2 x 13	PARAF. C/ CABEÇA HEX HD (NYLOK)	102 Nm			3/4 x 10	306 Nm	352 Nm
	817	3/4 x 10	PARAF. C/ CABEÇA HEX HD (NYLOK)	195 Nm	confirmar		7/8 x 9	495 Nm	570 Nm
	S/N	7/8 x 9	PARAFUSOS TAMPA PRINCIPAL	495 Nm			1" x 8	739 Nm	841 Nm

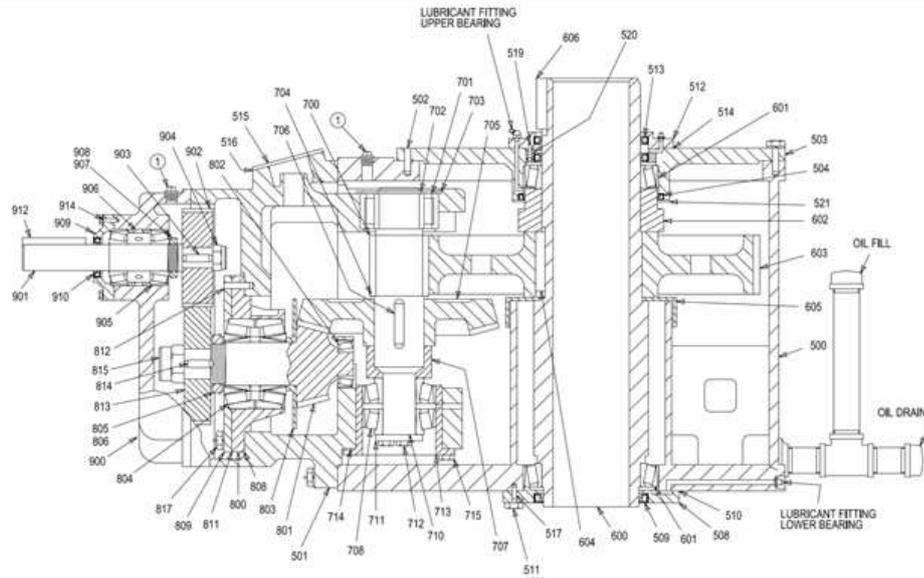


RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO DOS REDUTORES LIGHTNIN MODELO 882

045-AG-090/091/092/093/094/101/102/103/104/111/112/113/114/120/121/122/123/124

FOLHA 2/4
REV - 00
FEV/2014

MATERIAIS QUE DEVERÃO SER CONTROLADOS E REGISTRADO QUANTO A SUA UTILIZAÇÃO



AVALIÇÃO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS QUANTO A CONFIABILIDADE

ITEM	DESCRIÇÃO	PART NO FAB (882)	Numero Estoque ALUMAR	USAR EM PAR	INSPEÇÃO LP/Vireval/ Rel. Comp.	NÃO TROCAR	TROCAR	PÇ ORIGINAL	PÇ NÃO ORIGINAL OU MODI- FICADA
901	Eixo do pinhão de alta vel.	207218PSP	não cadastrado		RP				
801	Eixo do pinhão cônico / tripla redução	113738PSP	801266071	705 / 801	LP/RP				
700	Eixo do pinhão de baixa velocidade	180758PSP	801265133	603 / 700	LP/RP				
600	Eixo de baixa velocidade	208124PSP	não cadastrado		LP/RP				
305	Mancal (02) - TIMKEN JHM518643 - JHM516810	117087PSP	801114336		VISUAL				
804	Mancal (02) - TIMKEN HM821547 - HM821511D	117086PSP	801114734		VISUAL				
802	Nariz do mancal - ROLLWAY L-7312-U	117083PSP	801114212		VISUAL				
708	Mancal inferior (02) TIMKEN 93859321	117085PSP	801114328		VISUAL				
701	Mancal superior ROLLWAY E-5318-U	117088PSP	compra		VISUAL				
601	Mancal Sup./Inf. (2) - Mancal baixa rotação	117084PSP	801114310		VISUAL				
302	Pinhão de alta velocidade	113984PSP	801265130	813 / 302	LP				
813	Engrenagem de alta velocidade	113984PSP	801265130	813 / 302	LP				
705	Pinhão cônico	113738PSP	801266071	705 / 801	LP				
603	Engrenagem de baixa velocidade	180758PSP	801265133	603 / 700	LP				
909	Retentor do mancal de alta rotação	207213PSP	não cadastrado		-		X		
809	Retentor do mancal	207214PSP	não cadastrado		-		X		
810 / 910	Vedação óleo (2) - CIR 28748 CR/WHA1	115483PSP	800467286		-		X		
513 / 503	Vedação óleo (2) - National 415489	115461PSP	8011146662		-		X		
504	Vedação óleo - GARLOCK 64X4121	115462PSP	801268651		-		X		
505	Vedação óleo - GARLOCK 64X4122	115462PSP	não cadastrado		-		X		

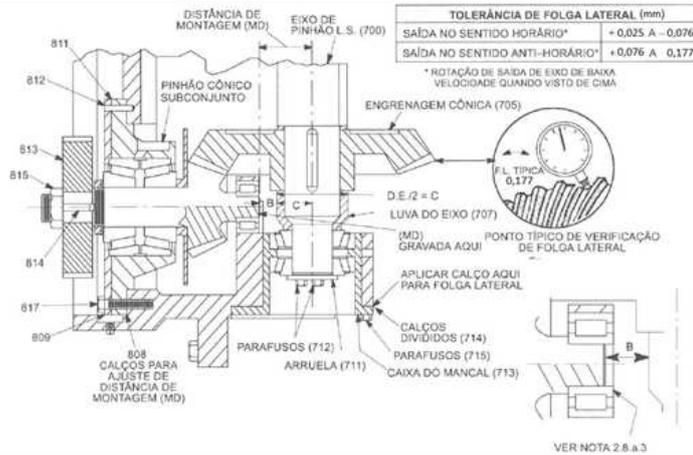


**RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO DOS REDUTORES LIGHTNIN
MODELO 882**

FOLHA 3/4
REV - 00
FEV/2014

045-AG-090/091/092/093/094/101/102/103/104/111/112/113/114/120/121/122/123/124

REGULANDO FOLGA ENTRE ENGRENAGENS



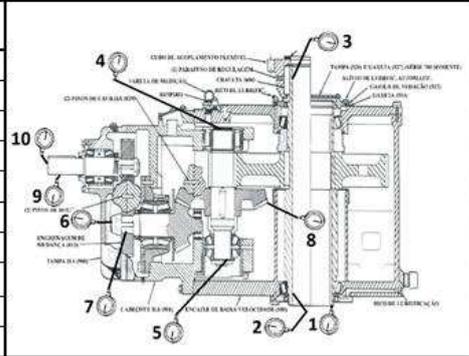
REGULAGEM / AJUSTE COM CALÇOS

DESCRIÇÃO	COTAS ()	DESCRIÇÃO	FOLGA ()	DESCRIÇÃO	FOLGA ()
DM (DISTÂNCIA DE MONTAGEM)		Conj. Calços = B + C - DM (Gravado no eixo pinhão)		Folga sentido horário (Encontrado)	
DM (DISTÂNCIA DE MONTAGEM)	B + C	MD (Recomendado)	+ 0,000 +0,102	Folga sentido horário (Deixado)	
O.D. (Dia. Ext. Mngs do eixo)		MD (Encontrado)		Folga sentido horário (Recomendado)	0,025
C = O.D / 2 (Raio do Mngs do Eixo)		MD (Deixado)		Folga sentido anti-horário (Encontrado)	
B		Folga sentido anti-horário (Recomendado)	0,076	Folga sentido anti-horário (Deixado)	

EXCÊNTRICIDADE E FOLGA / JOGO DOS EIXOS

EXCÊNTRICIDADE E FOLGA / JOGO DOS EIXOS

Ponto	Posição	Com tensão	Jogo recomendado ()	Jogo encontrado	Jogo deixado
1	Axial	SIM	+ 0,051 + 0,127		
2	Radial		0,000 a 0,050		
3	Radial		0,000 a 0,050		
4	Axial	SIM	- 0,025 + 0,102		
5	Radial		0,000 a 0,027		
6	Axial		+ 0,015 - 0,038		
7	Radial		0,000 a 0,020		
8	AJUSTAR FOLGA ENTRE ENGRANAGENS, ADOTAR PROCEDIMENTO ANTERIOR				
9	Radial		0,000 a 0,015		
10	Axial		+ 0,025 + 0,076		



Comentários sobre Ajuste & Folgas

		RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO DOS REDUTORES LIGHTNIN MODELO 882 <small>045-AG-030/091/092/093/094/101/102/103/104/111/112/113/114/120/121/122/123/124</small>			FOLHA 4/4 REV - 00 FEV/2014	
EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA O SERVIÇO:						
RECURSOS	ORDEM	DESCRIÇÃO	QDE	UNIDADE	Cap. / Taman	OBSERVAÇÕES
	1	Caixa de ferramenta padrão	1	CX	Padrão	
	2	Forno ou banheira de óleo	1	Equip.	1000°C	
	3	Ponte rolante	1	Equip.	10 Ton	
	4	Prensa	2	Equip.	50 e 400 Ton	
	5	Talha (para ajustes e transp pequenas pçs)	1	Equip.	1 Ton	
	6	Alicates de rolamento	1	Ferramenta		
	7	Chave de torque	1	Ferramenta	50-200 Nm	
	8	Chave de torque	1	Ferramenta	200-650 Nm	
	9	Medidor de espessura / telescópio medidor	1	Ferramenta	Universal	
	10	Micrometro	1	Instrumento	0 - 250 mm	
	11	Relógio Indicador / comparador	1	Instrumento	0,01 a 1,0 mm	
	12	Alças / Manilhas / Olhais	4 de cada	Pç	6 Ton	
13	tubo Lootite # 515 ou equivalente	4	Tubos			

CHECK LIST - CONFORME PROCEDIMENTO SEQUENCIAL DA LIGHTNIN					
(O mecânico deve executar os serviços com os desenhos e procedimento em mãos)					
ORD LIGHTNIN	ETAPA / ATIVIDADE	EXECUTADO	ORD LIGHTNIN	ETAPA / ATIVIDADE	EXECUTADO
1.0.1	Coletar ultimo relatório da Preditiva (Lubrificação e Vibração)		2.6 c, f, g, h, i	Instalar: calço, cone e rolos de mancal, ajustar flutuação, montar pinhão chanfrado	
1.0.2	Coletar amostra do óleo para análise do redutor		2.7	Ajustar a distancia de montagem	
1.1	Iniciar procedimentos de desmontagem conforme manual LIGHTNIN - Procedimentos Geral		2.7 a, b, c, e	Ajuste de distancias montagem, remover a submontagem, instalar calço, torques parafusos	
1.2	Remover tampa e cabeçote		2.8	Regulando a folga entre engrenagens	
1.3	Desmontar componentes de baixa velocidade.		2.8 a, b, c, d	Ajustar mandril / rasar jogo rotor e anti-rotor para registrar jogo / recuar os parafusos de cabeça / torques parafusos	
1.4	Desmontar cobertura de alta velocidade (somente tripla redução)		2.9	Montar tampa de alta velocidade	
1.5	Desmontar cabeçote de alta velocidade (2.9 a, c, d, h, i, j	Aquecer cones, montar suportes, usar leve aperto na contraporca, torques parafusos, medir flutuação axial, apertar contraporca para permitir jogo axial do eixo de alta	
1.6	Desmontar a submontagem do pinhão cônico.		2.10	Gaiola de vedação de baixa velocidade superior	
2.0	Cones de rolamento e engrenagens de aquecimento		2.10 a	Instalar vedação de óleo	
2.0 a, b	Aquecimento em estufa / banho de óleo		2.11	Instalar a engrenagem de mudança (813) sobre o eixo de pinhão chanfrado.	
2.1	Montar componentes do eixo de baixa velocidade		2.12	Aplicar eliminador de gaxeta lote #515 sobre o lado de montagem do encaixe de baixa velocidade	
2.1 i, j	Ajuste da engrenagem / aplicar camada de graxa a base de lítio NLGI #2		2.13	Montar o cabeçote de alta velocidade (501) no encaixe de baixa velocidade (500).	
2.2	Pinhão de baixa velocidade e componentes de engrenagem cônica		2.14	Aplicar o eliminador de gaxeta lote #500, inserir os 2 pinos de rolo (913) e instalar a tampa de alta velocidade (900)	
2.2 a, b, f	Aquecer engrenagem / montar canal interno do rolamento / verificar inexistência de folga		2.15	Instalar o distribuidor de óleo e as tampas de inspeção e gaxetas.	
2.3	Sub-montagem do pinhão cônico		2.16	Lubrificar os mancais de eixo de baixa velocidade superior e inferior com uma graxa a base de lítio	
2.3 a, b	Aquecer o canal interno do mancal / Instalar os corpos de rolamento		2.17	Aquecer o cubo de acoplamento flexível f. inserir	
2.4	Montar cobertura principal		2.18	Reinstalar a unidade na base ou estrutura de montagem e reechar com óleo até a Marca cheia da vareta de inspeção.	
2.4 b, c	Instalar vedação de óleo / acondicionar o interior da vedação		3	Itens 801 e 705, disponíveis em conjunto - registrar o numero do par	
2.5	Conclusão da montagem inferior		4	Itens 700 e 603, disponíveis em conjunto - registrar o numero do par	
2.5 b, c, m	Montar calço de flutuação axial / inserir os parafusos da tampa / ajustar mancais		5	Itens 912 e 813, disponíveis em conjunto - registrar o numero do par	
2.6	Montar cabeçote de alta velocidade		6.0.1	Teste de 2 horas em bancada para avaliar: temperatura, vibração, corrente elétrica, vazamentos e apertos se necessário conforme torque	